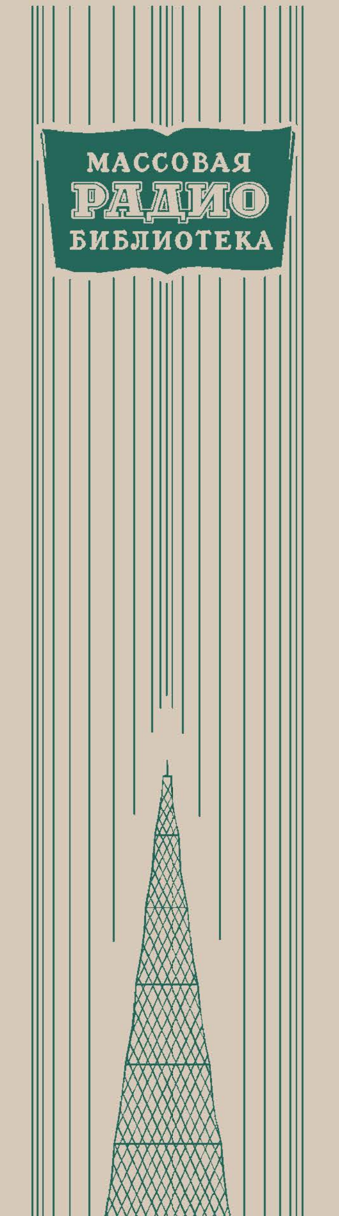
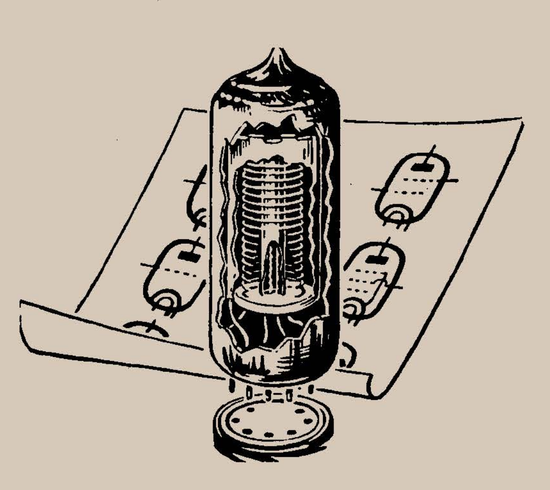


Е. А. ЛЕВИТИН

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 368

Е. А. ЛЕВИТИН

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Под редакцией
Л. В. КУБАРКИНА

Издание второе,
переработанное и дополненное

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

В книге рассказывается о наиболее распространенных и известных электронных лампах. Основное внимание в ней уделено описанию физических процессов, на которых основана их работа. На примерах, связанных с работой электронных ламп, рассмотрены основные положения электроники.

Второе издание книги пополнено материалами о лампах для сверхвысоких частот, описаниями некоторых усовершенствований в области конструкций радиоламп и описаниями новых электронно-лучевых трубок.

Книга рассчитана на начинающих радиолюбителей, имеющих общеобразовательную подготовку в объеме семи классов.

Автор *Левитин Ефим Алексеевич*

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

* * *

Редактор *В. А. Бурлянд* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 7/I 1960 г. Подписано к печати 17/III 1960 г.
Формат бумаги $60 \times 84^1/_{16}$. 6,97 п. л. 7,6 уч.-изд. л.
Т-04018. Тираж 150 000. Цена 3 р. 05 к. Зак. 1479.

Набрано в типографии Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.
Отпечатано типографией «Красный пролетарий» Госполитиздата
Министерства культуры СССР. Москва, Краснопролетарская, 16.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Со времени выхода в свет первого издания книги прошло пять с лишним лет. За это время в области электронных ламп появился ряд новинок. Совершенствование ламп шло как по линии улучшения их конструкции, так и в направлении дальнейшего повышения их электрических параметров, и в первую очередь — крутизны характеристики.

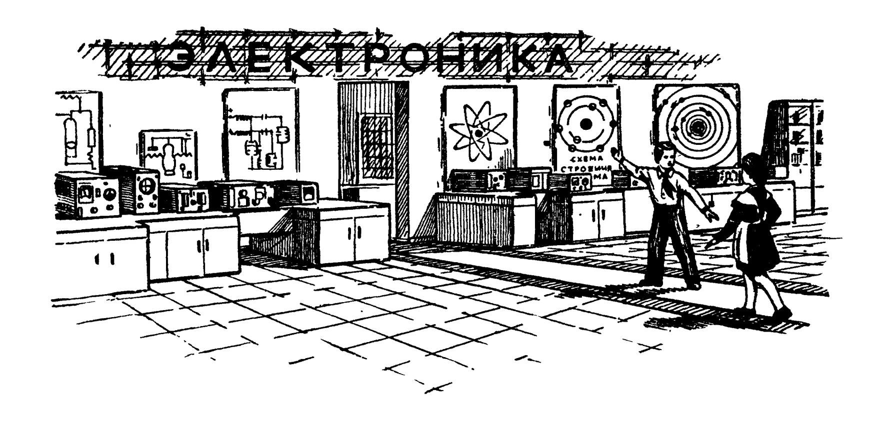
Для ламп массового применения характерен переход на так называемую пальчиковую конструкцию (цельностеклянную), которая в настоящее время является основной для приемно-усилительных ламп. В аппаратуре профессионального назначения значительно шире стали применяться лампы сверхминиатюрного типа, также цельностеклянные. Ряд усовершенствований как конструктивного, так и технологического характера позволил начать серийный выпуск ламп с рекордными значениями крутизны — до 30 *ма/в*. Значительные успехи достигнуты в отношении повышения срока службы ламп.

Все более широкое проникновение радиотехники в область сверхвысоких частот привело к появлению ламп новых типов, рассчитанных специально на работу при таких высоких частотах.

Особенно много нового было создано в области фотоэлементов и электронно-лучевых трубок.

Все эти вопросы нашли отражение в настоящем издании книги, которая должна помочь широким кругам радиослушателей и начинающих радиолюбителей получить представление о всем разнообразии современных электронных ламп.

Автор



ВВЕДЕНИЕ

Электроника. Несмотря на то, что это слово встречается на страницах печати уже не меньше двух-трех десятков лет, оно многим еще кажется несколько странным, а значение его — весьма расплывчатым и неясным.

Словари мало чем помогают толкованию этого слова. Само по себе оно в словарях, даже новейших, обычно отсутствует, а имеющиеся слова вроде «электрон» и «электронный» не дают возможности представить себе смысл слова «электроника».

Что же оно означает?

Электроникой называют новую область науки и техники, развивающуюся необычайно быстрыми темпами. Электроника, зародившаяся совсем недавно, уже стала не только важнейшей, но и ведущей отраслью знания, причем ее роль и значение непрерывно и быстро возрастают. Развиваясь сама, электроника оказывает огромное влияние на развитие других областей науки и техники, способствуя их быстрому и плодотворному прогрессу.

Электроника охватывает определенную группу электрических явлений.

Основой электрических явлений служат электрические заряды и связанные с ними электрические и магнитные поля. В течение долгого времени наука изучала электрические заряды, находящиеся в покое или движущиеся по

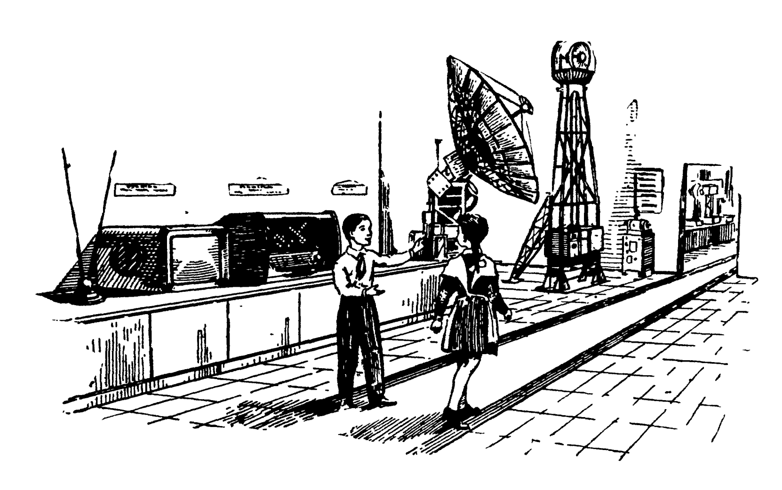
проводникам или в жидкостях. На базе использования этой части электрических явлений развилась важнейшая отрасль техники — электротехника, коренным образом преобразовавшая всю нашу жизнь. Общеизвестно, какое огромное значение придавал электрификации В. И. Ленин.

Вся современная энергетика, все огромное разнообразие электрических машин и приборов основаны на использовании свойств электрических зарядов, движущихся в проводниках — твердых или жидких — или в некоторых случаях, сохраняющих неподвижность (тепловое движение в расчет не принимается).

Более углубленное изучение электрических явлений, начатое в конце прошлого столетия, выявило интереснейшие особенности, связанные с движением электрических зарядов в вакууме, в газах при различном давлении и в полупроводниках. При помощи устройств, принцип действия которых основан на особенностях движения электрических зарядов в вакууме, газах и полупроводниках, оказалось возможным в одних случаях решать такие задачи, которые до того вообще не удавалось решать другими средствами, в других же — добиваться большей точности, быстроты, удобства и экономичности, чем при иных способах их решения.

Эта часть электрических явлений, связанных с движением зарядов в указанных средах, ввиду их особых свойств была выделена в самостоятельной раздел учения об электричестве, который и получил название электроники. Приборам, в которых используются указанные особые свойства движения зарядов, было присвоено название электронных, газоразрядных и полупроводниковых со множеством более мелких подразделений и групп.

Все эти приборы отличаются от обычных электротехнических не только средой, в которой происходит движение зарядов. В электротехнических приборах по проводам движутся огромные количества электронов — практически все имеющиеся в проводнике свободные электроны, причем электрические и магнитные поля применяются только для приведения их в движение в прямом или обратном направлении. В приборах, созданных электроникой, осуществляется сложное управление потоками зарядов, которые изменяют движение в нужном направлении, различным образом группируются, движутся по сложным кривым, взаимодействуют друг с другом и с различными материалами, и т. п. Создан даже особый раздел электроники — элек-



тронная оптика. В электронно-оптических приборах с потоками электрических зарядов поступают примерно так же, как со светом в оптических приборах. В рабочих процессах, происходящих в электронных приборах, могут участвовать и не все свободные электроны, имеющиеся в цепях приборов.

Все эти обстоятельства имеют чрезвычайно существенное значение. Масса электронов и других элементарных частиц, имеющих электрические заряды, столь мала, что ею во многих случаях можно пренебречь и считать, что заряды практически не имеют массы. Благодаря этому многие электронные приборы являются практически безынерционными, при их помощи можно генерировать электрические колебания, усиливать их, осуществлять мгновенно реагирующие реле, с невероятной скоростью перемещать электронные лучи и делать многое другое. Лишь благодаря этим удивительным свойствам электронных приборов можно было создать такие современные устройства, как осциллографы, электронные микроскопы, электронные счетно-решающие машины, ускорители элементарных частиц, осуществить телевидение, радиолокацию, произвести запуск искусственных спутников Земли и Солнца, осуществить полет космической ракеты вокруг Луны и сфотографировать ее невидимую с Земли сторону.

Электроника как определенная отрасль техники ведет свою историю примерно с начала нашего века, но работы, открытия и изобретения, которые привели в конце концов к ее зарождению и развитию, можно проследить на протяжении всего прошлого столетия. Нельзя назвать какого-

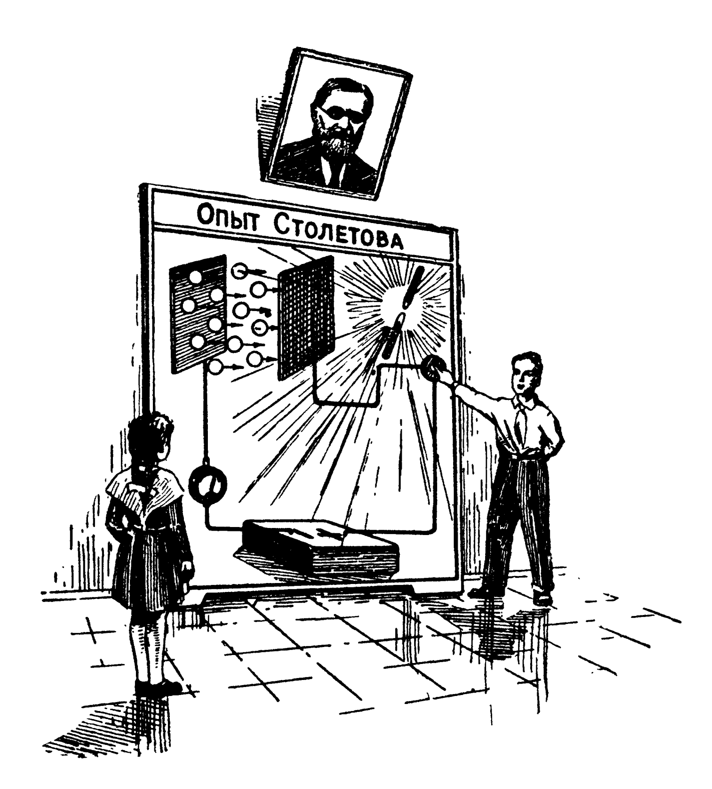
нибудь отдельного ученого, труды которого положили бы начало развитию электроники или решающим образом способствовали бы этому развитию. Электроника является плодом коллективных усилий ученых всех стран. Весьма значительная доля в подготовительных работах и в развитии непосредственно электроники принадлежит и ученым нашей страны.

Одно из первых открытий, которое может быть вписано в историю электроники, было совершено на рубеже XVIII и XIX веков. В 1802 г. выдающийся русский физик В. В. Петров, организатор физического кабинета в Медико-хирургической академии, экспериментируя с построенной им большой гальванической батареей, получил электрическую дугу. Прибор для получения электрической дуги был первым электрическим прибором, в котором осуществлялся и был использован перенос электрических зарядов через пространство между проводниками не в виде случайной кратковременной искры, а как постоянный рабочий процесс.

Истоки электроники, в том числе современной полупроводниковой техники, можно усмотреть в открытии фотоэффекта американцем У. Смитом, совершенном в 1873 г. В современной науке и технике фотоэффект всех видов используется исключительно широко, а изучение его сыграло большую роль в выявлении физических основ электроники.

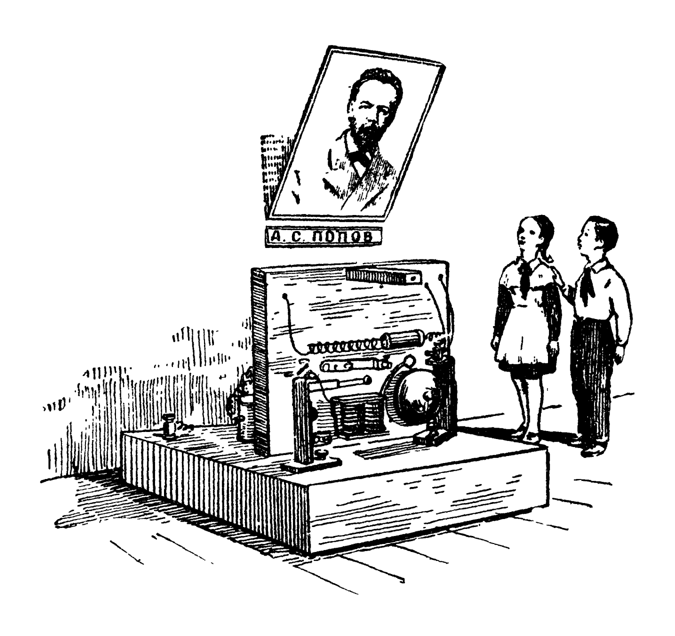
Первое замеченное явление фотоэффекта заключалось в увеличении проводимости селена при его освещении. Этот вид фотоэффекта называется теперь внутренним. В дальнейшем ученые столкнулись с явлениями так называемого внешнего фотоэффекта. В 1887 г. германский ученый Г. Герц заметил, что освещение отрицательного электрода облегчает разряд в разряднике. В следующем 1888 г. его соотечественник Галльвакс обнаружил, что отрицательно заряженная пластина теряет свой заряд, будучи освещена электрической дугой. Это явление было особо тщательно изучено видным русским ученым — профессором А. Г. Столетовым, который вывел основные закономерности внешнего фотоэффекта и изготовил первые фотоэлементы. Это дает право относить работы А. Г. Столетова по исследованию фотоэффекта к наиболее важным работам в этой области.

Крупным событием в предыстории электроники было изобретение в 1872 г. А. Н. Лодыгиным электрической



осветительной лампы накаливания. Производство электрических осветительных ламп явилось впоследствии той материальной базой, на которой началось промышленное развитие электронной техники.

Весьма разносторонний американский изобретатель Т. А. Эдисон вписал свое имя и в историю электроники, совершенно, к слову сказать, об этом не помышляя. В 1883 г. во время одного из своих опытов с осветительными лампами Эдисон заметил, что если в лампу впаять металлическую пластинку и присоединить электрическую батарею плюсом к этой пластине, а минусом — к нити накала и накалить эту нить, то через пространство нить — пластинка, являющееся по существу пустым пространством, течет электрический ток. Эдисон не понял этого явления, но все же описал его и запатентовал. Объяснить факт прохождения тока через «пустоту» Эдисон, естественно, не мог, так как существование электронов в ту пору еще не было известно.



Обнаруженное Эдисоном явление было использовано довольно скоро. Уже в 1892 г. Цендером была сконструирована на основе этого явления лампа-индикатор, служившая для определения начала газового разряда.

Крупнейшие события, оказавшие огромное влияние на развитие электроники, произошли в самом конце прошлого столетия. В 1895 г. русский ученый А. С. Попов изобрел радиоприемник, а двумя-тремя годами позднее в связи с изучением катодных лучей английским физиком Д. Д. Томсоном были открыты электроны. Развитие радиотехники послужило тем непосредственным стимулом, который привел к созданию различных электронных приборов, а открытие электронов подвело под разработку этих приборов теоретическую базу.

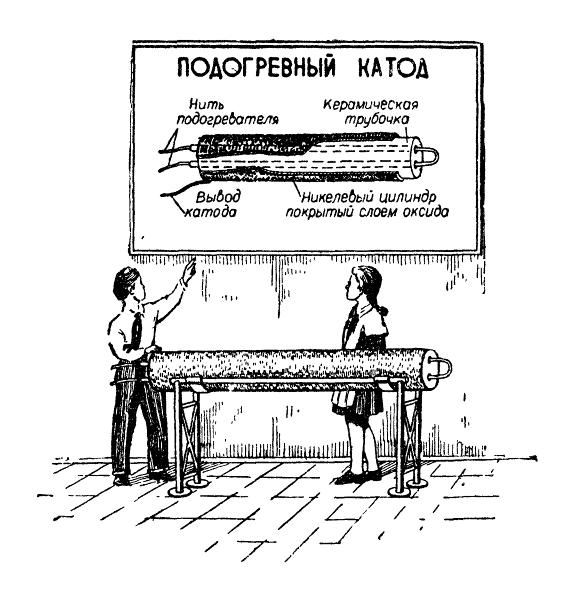
Честь изготовления первой радиолампы принадлежит англичанину Д. А. Флемингу. Флеминг в поисках подходящего детектора для радиоприемника вспомнил об опыте Эдисона и изготовил ламповый детектор, вполне оправдавший возлагавшиеся на него надежды.

Через три года после этого — в 1907 г. — американец Ли де Форест ввел в лампу Флеминга управляющий электрод — сетку и создал триод, обладавший, как было затем установлено, способностью усиливать электрические колебания и генерировать их. После этого производство радио-

ламп начало быстро развиваться. В нашей стране первым (в 1914 г.) сделал радиолампу Н. Д. Папалекси — один из наших виднейших физиков, а после него М. А. Бонч-Бруевич (см. стр. 52).

Надо отметить, что все первые лампы, в том числе и лампы Флеминга, Ли де Фореста и Папалекси, были газовыми, т. е. содержали газ. Лишь в 1915 г. вакуумная техника достигла достаточного совершенства и смогла обеспечить изготовление вакуумных радиоламп.

Совершенствование радиоламп, а вместе с ними и других электронных приборов шло не только по пути введения дополнительных электродов и достижения предельно возможного вакуума. Весьма существенную роль в этом отношении сыграло улучшение катодов — источников электронных потоков. Вначале в электронных приборах применялись чисто вольфрамовые катоды, заимствованные из осветительных ламп. На нагрев их до нужной температуры требовалось много электроэнергии. Крупное открытие в этой области сделал Лэнгмюр, обнаруживший, что добавление к вольфраму примеси окиси тория дает возможность резко понизить температуру катода, нужную для его нормальной работы, и, следовательно, сделать катод гораздо более экономичным.



Важнейшее значение в развитии электронных приборов имело изобретение профессором А. А. Чернышовым подогревного катода, успешно и просто разрешившего проблему питания электронной аппаратуры переменным током. Подогревные катоды нашли распространение во всех странах, и быстрое развитие радиовещания и затем телевидения было, несомненно, возможно лишь на базе использования ламп с подогревными катодами.

Приведенный перечень открытий и изобретений, подготовивших почву для современного расцвета электроники, отнюдь не претендует на какую-либо систематичность и полноту. В нем упомянуто лишь о некоторых фактах из истории начала развития электроники для того, чтобы показать, что в это развитие внесли свою лепту ученые многих стран и что в общей работе роль русских ученых была велика, несмотря на отсталость старой России в научном и в особенности в техническом отношении от передовых капиталистических стран. За годы советской власти наша страна в научном и техническом отношении стала передовой, и ей теперь принадлежит ведущая роль в развитии электроники.

Электронные приборы, получившие в настоящее время практическое распространение, чрезвычайно многочисленны и разнообразны. Охватить в одной книге все многообразие современных электронных приборов становится уже фактически невыполнимой задачей. В этой книге рассказывается главным образом о наиболее известных радиолюбителям и радиослушателям электронных лампах различных назначений и об основных положениях электроники.

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОН

В основе электроники лежит использование потоков электронов, а иногда и других электрически заряженных элементарных частиц, движущихся в вакууме, газах или полупроводниках.

Что же представляет собой электрон?

Наукой установлено, что вещество имеет *атомное строение*. Размеры атома ничтожно малы: поперечник атома равен примерно одной стомиллионной части сантиметра (10^{-8} *см*). Однако, несмотря на столь малую величину, атом имеет довольно сложную структуру.

В центре атома находится ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. В состав ядра входят частицы двух родов — *протоны и нейтроны*. Исключение состав-

ляет ядро самого легкого химического элемента — водорода, состоящее из одного протона. Ядро следующего по весу элемента — гелия — состоит из двух протонов и двух нейтронов. Частицы, входящие в состав ядра, удерживаются друг возле друга мощными внутриядерными силами.

Ядро атома ни при каких химических реакциях не подвергается изменениям. Именно ядро атома определяет собой род веществ; каждому химическому элементу соответствует совершенно определенное атомное ядро.

В электрическом отношении протоны и нейтроны неодинаковы. Протоны имеют элементарный, т. е. наименьший возможный, электрический заряд положительного знака. Численно величина этого заряда равна $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к* (кулона). Нейтрон не имеет никакого электрического заряда. Название «нейтрон» присвоено ему именно потому, что он электрически нейтрален.

Таким образом, заряд атомного ядра определяется числом входящих в его состав протонов. Если ядро состоит из одного протона (ядро водорода), то его заряд будет равен $+1$, если в ядре имеются два протона, то его заряд будет равен $+2$, и т. д. Вес ядра зависит от общего числа входящих в него протонов и нейтронов. Поскольку заряд ядра зависит от числа имеющихся в нем протонов, а вес — от числа протонов и нейтронов, то, зная заряд и вес ядра, можно определить, сколько протонов и нейтронов входит в его состав.

Вокруг ядра подобно планетам обращаются мельчайшие частицы — *электроны,* образующие своего рода электронные «оболочки» атома. Таких «оболочек» может быть несколько. Каждый электрон несет на себе элементарный электрический заряд, по величине равный заряду протона, но имеющий отрицательный знак. Электрон, следовательно, представляет собой наименьший возможный отрицательный заряд, наименьшее возможное количество электричества.

Заряд электрона равен $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*, его масса равна $9{,}1 \cdot 10^{-28}$ *г* (грамма), его диаметр составляет примерно 10^{-12} *мм* (миллиметра). Масса как протона, так и нейтрона приблизительно в 1 840 раз превышает массу электрона.

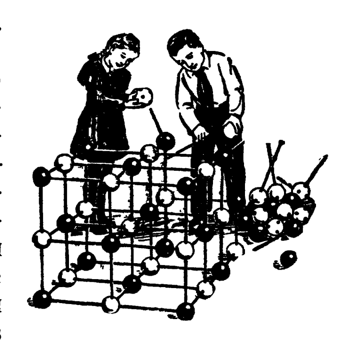
Число электронов, окружающих ядро атома, равно числу протонов, имеющихся в этом ядре. Например, ядро атома водорода состоит из одного протона, поэтому в атом водорода входит один электрон. Ядро гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов, поэтому в электронную

оболочку атома гелия входят два электрона и т. д. Поэтому каждый атом сам по себе электрически нейтрален: положительный заряд его ядра полностью уравновешивается отрицательным зарядом окружающих ядро электронов. Так как масса протона и нейтрона в 1 840 раз больше массы электрона, то практически вся масса атома заключена в его ядре. Масса электронов составляет ничтожную долю общей массы атома.

Электроны не связаны с атомом неразрывно. При известных обстоятельствах атом может терять один или несколько электронов. В случае потери электронов атом в целом оказывается заряженным положительно, потому что положительный заряд его ядра уже не уравновешивается отрицательным зарядом окружающих ядро электронов. Иногда атомы могут захватывать извне лишние электроны, тогда их заряд становится отрицательным — число электронов в электронных оболочках атома превышает число протонов в его ядре. Атомы, имеющие некомплектное количество электронов, носят название ионов. Атомы, у которых не достает одного или нескольких электронов, являются положительными ионами, атомы с избытком электронов — отрицательными ионами.

Ионизация атомов происходит за счет электронов, находящихся в наружной электронной оболочке. В каждой оболочке атома может находиться не больше определенного числа электронов. Например, в первой ближайшей к ядру оболочке может быть не больше двух электронов, во второй — не больше восьми, в третьей — не больше 18. Электроны внешней оболочки не так прочно удерживаются в системе атома, как электроны внутренних оболочек, и могут отрываться от атома, вследствие чего атом превращается в положительный ион. С другой стороны, если во внешней оболочке атома меньше электронов, чем может быть в этой оболочке, например, если внешней оболочкой является вторая и в ней меньше восьми электронов, то такой атом может при известных обстоятельствах осуществить захват лишних электронов и стать отрицательным ионом.

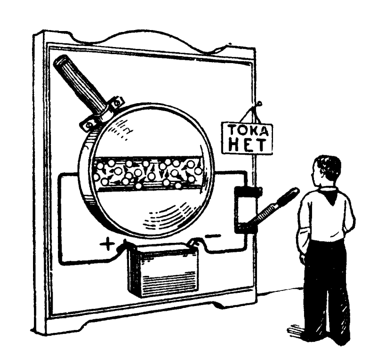
Ионизация атомов может происходить от различных причин: атомы могут ионизироваться под влиянием очень высокой температуры, под воздействием ультрафиолетовых лучей и пр. В электронных приборах чаще всего приходится встречаться с ионизацией, возникающей в результате столкновения атома с какой-либо элементарной

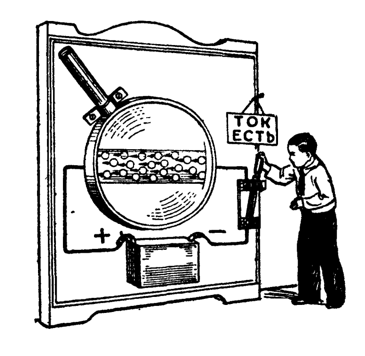


частицей, например с электроном. Если такая частица приближается к атому с большой скоростью (причем непосредственного соприкосновения между ними может и не произойти), то она может выбить из него один или несколько электронов и, следовательно, ионизировать его. При ударах меньшей силы атом не ионизируется, а полученная им энергия сообщается одному из его электронов, заставляя его перейти на более удаленную от ядра оболочку, где электроны обладают большей энергией. Однако очень скоро электрон возвращается на свою оболочку, отдавая при этом избыток энергии в виде излучения. При переходе электронов, находящихся в наиболее близких к ядру оболочках, происходит излучение электромагнитных колебаний, соответствующих по частоте рентгеновским лучам. При переходе электронов с более удаленных от ядра оболочек атом излучает световые лучи.

У различных веществ электроны не одинаково прочно удерживаются в системе атома. Особенно легко «теряют» свои электроны атомы металлов. Строение металлов представляет собой объемную решетку, составленную из атомов. В промежутках между атомами этой решетки беспорядочно движутся во всех направлениях огромные количества электронов, оторвавшихся от атомов. Эти электроны называют «свободными». Скорость беспорядочного хаотичного движения электронов зависит от температуры металла. При повышении температуры она увеличивается. В любом куске металла свободных электронов столько, сколько их нужно для полного уравновешивания зарядов положительных ионов — атомов с неполным «комплектом» электронов. Поэтому в целом такой кусок металла не имеет заряда (электрически нейтрален).

Все явления электрического тока связаны с перемещением электрических зарядов, в большинстве случаев электронов или ионов. Электрический ток представляет собой поток движущихся в определенном направлении электрических зарядов. Любое перемещение даже одиночного электрона или иона является электрическим током, но практически движущиеся заряды обладают свойствами электрического тока только тогда, когда имеет место их





упорядоченное движение, когда преобладающее количество имеющихся в данном объеме электрических зарядов движется в определенном направлении. Хаотическое движение зарядов, например тепловое движение электронов в металле, не проявляет себя как электрический ток, потому что при подобном движении любому количеству электронов, перемещающихся в каком-нибудь направлении, всегда противопоставляется такое же количество электронов, движущихся в обратном направлении.

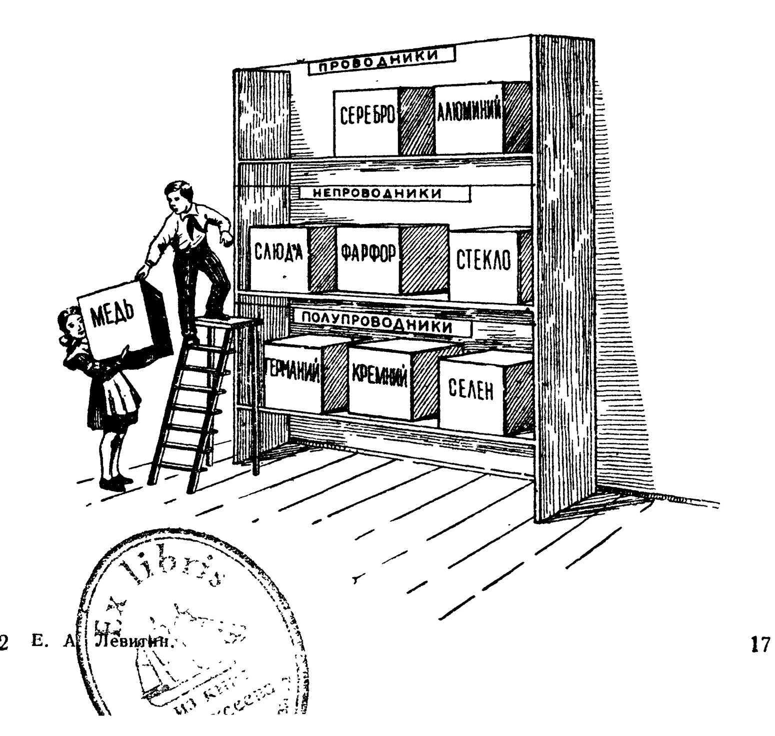
Все вещества в электрическом отношении делятся на *проводники, непроводники* и *полупроводники*. Если атомы данного вещества легко теряют электроны и эти свободные электроны имеют возможность без особых затруднений перемещаться в толще этого вещества, то такое вещество является проводником электрического тока. Лучшими проводниками являются металлы. В металлах всегда имеется огромное количество свободных электронов.

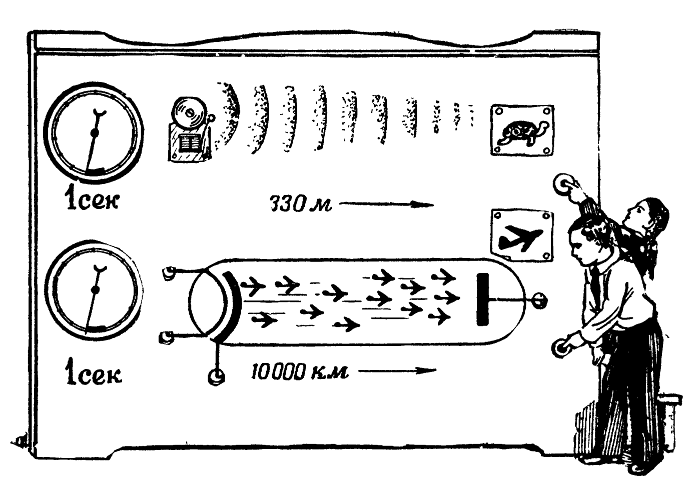
Свободных электронов в непроводниках (*диэлектриках*) практически нет, продвижение электронов в них крайне затруднено. К ним относятся, например, стекло, мрамор, слюда и др.

Полупроводники занимают промежуточное место между проводниками и непроводниками. Их сопротивление больше, чем у проводников, и меньше, чем у непроводников. Кроме того, сопротивление полупроводников может сильно изменяться от разных причин — температуры, примесей и пр. Наиболее распространенные полупроводники — кремний, германий, селен и др.

В твердых телах электрический ток образуется почти исключительно потоками электронов. В жидкостях и газах, а также в вакууме электрический ток может создаваться потоками как электронов, так и ионов.

Величина тока определяется количеством электрических зарядов, прошедших через поперечное сечение проводника в течение 1 *сек*. Так как минимальным электрическим зарядом является заряд электрона, то определение величины электрического тока всегда связывается с количеством электронов, движущихся по проводнику (или вне проводника). За единицу величины (силы) электрического тока принят ампер. При токе в 1 *а* (ампер) через поперечное сечение проводника в течение секунды проходит 1 *к* электричества. Так как заряд электрона равен $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*, то 1 *к* составляет $6{,}3 \cdot 10^{18}$ электронов. Следовательно, при токе в 1 *а* через поперечное сечение проводника в 1 *сек* протекают $6{,}3 \cdot 10^{18}$ электронов. Следует учесть, что такое определение ампера было сделано тогда, когда рассматривалось прохождение электронов только по проводникам. Поскольку электронике приходится иметь дело с электрическими зарядами, распространяющимися и вне проводников, то слово «проводник» или «провод» можно было бы заменить, например, словом «канал», определяющим ту часть пространства, в которой происходит перемещение электрических зарядов.





Электрический ток распространяется по проводам со скоростью света: он «пробегает» в секунду 300 000 *км*. Но это не значит, что электроны, образующие электрический ток, движутся с такой же скоростью. Электроны в проводах движутся очень медленно. Скорость их движения зависит от величины э. д. с. (электродвижущейся силы), приложенной к концу проводника, и при тех напряжениях, с какими практически приходится иметь дело в радиоаппаратуре, она измеряется немногими миллиметрами в секунду. Следующий пример поможет уяснить разницу между скоростью движения электронов и скоростью распространения тока, т. е. скоростью распространения электрического поля вдоль проводника.

Представим себе длинную колонну солдат. В хвосте этой колонны стоит офицер и дает команду начать движение. Очевидно, команда будет распространяться вдоль колонны со скоростью звука. Ближайшие к офицеру ряды начнут движение практически мгновенно, через секунду начнут двигаться ряды, отстоящие от офицера на 330 *м*, и т. д. Каждый солдат будет шагать со скоростью 4—6 *км* в час, но начало движения рядов будет передаваться по колонне со скоростью звука, т. е. около 1 200 *км* в час.

Примерно так обстоит дело и с электрическим током. Электроны движутся очень медленно, но «команда», по которой они начинают движение, передается со скоростью света.

В пространстве с разреженными газами и в вакууме электроны, не встречая таких препятствий, как в твердых

телах, движутся гораздо быстрее, тут их скорость измеряется обычно тысячами и десятками тысяч километров в секунду.

Различная скорость движения электронов в металлах, газовой среде и вакууме объясняется неодинаковым количеством столкновений с молекулами и атомами, которые электрон встречает на своем пути. Естественно, что движение электронов в толще металла затруднено, так как им приходится «пробираться» между тесными рядами атомов, образующих пространственную решетку. В газах электроны встречают меньше препятствий на своем пути, так как столкновения с молекулами или атомами происходят гораздо реже и притом тем реже, чем больше разрежен газ. В вакууме, практически представляющем собой пространство с весьма разреженным газом, испытываемые электронами столкновения чрезвычайно редки и движение электронов происходит наиболее свободно.

ПОЛУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

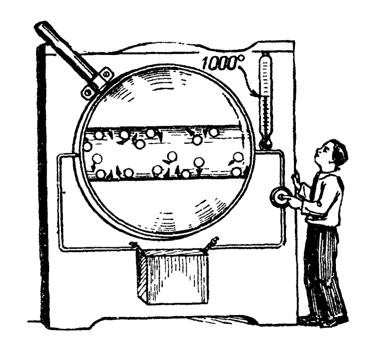
В большинстве электронных приборов используются потоки электронов, движущихся в вакууме. Поэтому в таких приборах должно быть устройство для получения потоков свободных электронов вне проводников.

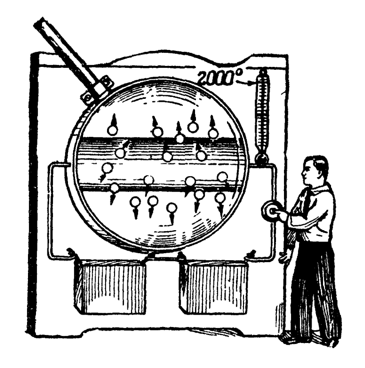
Электроны, нужные для работы электронных приборов, могут быть получены несколькими способами. В настоящее время практически применяются главным образом три способа.

Первый из них может быть назван тепловым или термическим. Суть его заключается в следующем.

В каждом проводнике, как уже указывалось, имеется огромное количество свободных электронов. Эти электроны находятся в беспрестанном хаотическом движении, скорость которого определяется температурой проводника. С увеличением температуры скорость движения электронов возрастает. Между прочим, следует отметить, что именно электроны, свободно перемещающиеся внутри металлов, являются прекрасными переносчиками тепла, что и определяет высокую теплопроводность металлов.

При обычных температурах электроны, беспорядочно движущиеся среди атомов металла, не могут вылететь в окружающее пространство. Находясь внутри проводника, электрон со всех сторон окружен другими электронами и ионами, действие которых на электрон взаимно уравновешивается, и электрон, не испытывая поэтому ни при-





тяжения, ни отталкивания со стороны других частиц, движется сравнительно свободно.

Положение меняется, когда электрон приблизится к самой поверхности металла. Мы знаем, что атомы вещества состоят из положительно заряженных ядер, окруженных отрицательно заряженными электронами. Из этого следует, что непосредственно внешняя поверхность вещества представляет собой своего рода электронную оболочку, имеющую отрицательный заряд. Дойдя до этой оболочки, электрон испытывает ее отталкивающее действие, направленное внутрь, и притягивающее действие положительных ионов, направленное тоже внутрь. Эти силы препятствуют вылету электронов из проводника во внешнее пространство.

Электрон обладает хотя и небольшой, но все же определенной массой, и поэтому, как каждое тело, имеющее массу, при своем движении приобретает некоторый запас энергии. Количество этой энергии зависит от скорости движения. При обычных температурах скорость электронов и, следовательно, их запас энергии недостаточны для преодоления сил, препятствующих их вылету.

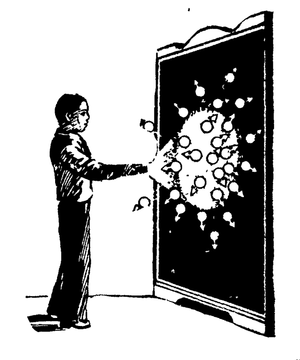
При нагревании скорость движения электронов увеличивается и при известной температуре, определенной для каждого металла, она становится достаточной для преодоления противодействующих сил, и электроны начинают вылетать из проводника в окружающее пространство. Не все электроны, движущиеся в пределах проводника, имеют одинаковые скорости. Поэтому при каждой температуре только некоторая часть электронов разгоняется до скорости, достаточной для вылета. Чем выше температура, тем больше количество электронов, получающих нужную для вылета скорость. Чистые металлы требуют нагрева при-

мерно до 2000° C, чтобы начался вылет электронов в заметных количествах.

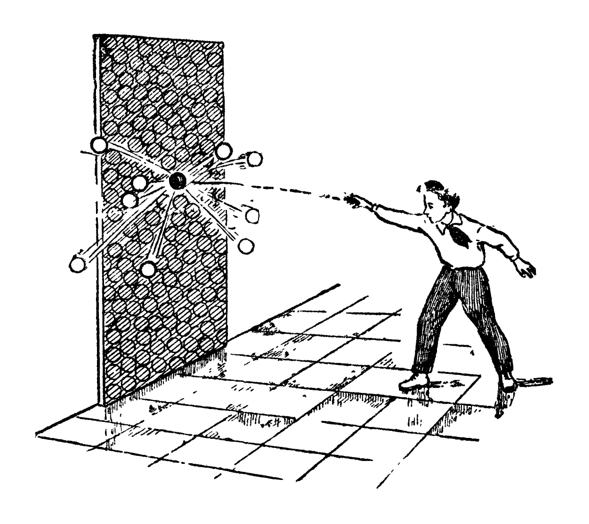
Излучение проводником электронов носит название *электронной эмиссии.* Поскольку в рассматриваемом случае эмиссия электронов возникает вследствие нагрева проводника, она называется тепловой эмиссией или термоэмиссией. Полученные этим способом электроны часто называют *термоэлектронами.* Для создания нужного потока электронов в электронных приборах наиболее часто используется именно *термоэлектронная эмиссия.*

Вторым способом получения потоков электронов является световой способ, или фотоспособ. Способ этот основан на явлении внешнего фотоэффекта, изученного А. Г. Столетовым в 1888 г. А. Г. Столетов обнаружил, что некоторые металлы под воздействием падающих на них лучей света начинают излучать электроны. Особенно сильное излучение электронов наблюдается, например, у цезия, натрия, калия. В физике это явление получило название внешнего фотоэффекта, так как электроны при этом излучаются во внешнее пространство. В технике оно называется *фотоэлектронной эмиссией,* а полученные этим способом электроны — *фотоэлектронами.* Фотоэлектронная эмиссия используется в значительной группе электронных приборов — фотоэлементах различных типов и назначений.

Следует отметить, что в электронных приборах часто используется и обратное явление — свечение некоторых веществ под воздействием падающих на них потоков электронов — под воздействием электронной бомбардировки (см. стр. 15). Такие вещества называют люминофорами или фосфорами. К ним относится, например, минерал виллемит, светящийся зеленым светом при облучении его электронами. Виллемитом покрыты экраны общеизвестных оптических индикаторов настройки в радиоприемниках.



Фотоэлектронная эмиссия физически объясняется так. Световой поток несет определенное количество энергии. Эта энергия сообщается электронам и ускоряет их движение до такой величины, при которой они получают возможность вылета за пределы тела. Обратный эффект — свечение — состоит в том,



что быстро летящие электроны, сталкиваясь с атомами, возбуждают их, а их возвращение в нормальное состояние, как было уже отмечено, сопровождается излучением света. Дополнительная энергия, которую электрон атома получает в результате удара, расходуется им на излучение света.

Третий способ получения электронных потоков в электронных приборах можно назвать механическим. Если на поверхность металла направить поток электронов — подвергнуть ее электронной бомбардировке, то при известной скорости ударяющихся электронов они начинают выбивать из металла некоторые из имеющихся в нем электронов. Ударяющиеся электроны называют *первичными*, выбиваемые — *вторичными*. При известных условиях, связанных со скоростью первичных электронов, каждый первичный электрон может выбить несколько вторичных, поэтому при помощи этого способа можно, используя слабый поток первичных электронов, получить более сильный поток вторичных электронов.

Явление это называют иногда *динатронным эффектом*, а приборы, в которых оно используется, получили название *электронных умножителей*.

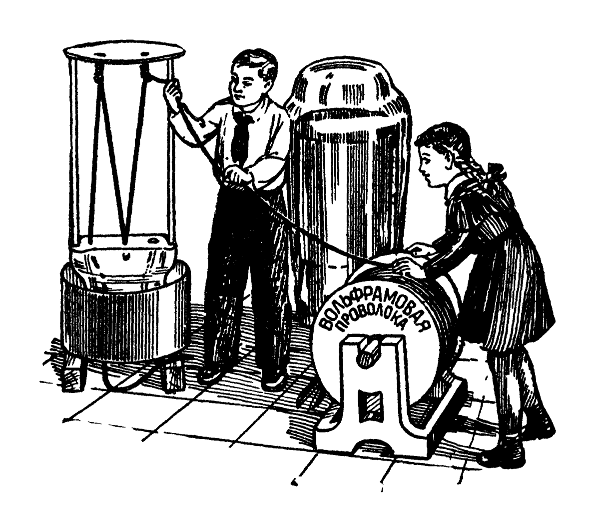
Электронное умножение, естественно, может быть использовано только в сочетании с каким-либо другим способом получения электронного потока — световым или тепловым, который служит для получения первичных электронов.

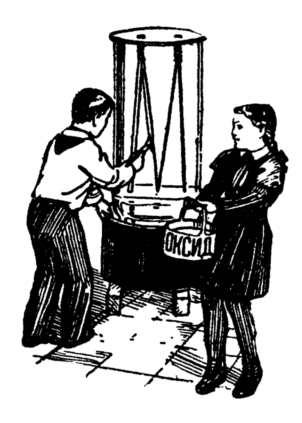
Выбивание вторичных электронов может иметь место не только как явление, предусмотренное при конструировании электронного прибора и нужное для его нормальной работы, но и как явление побочное. В некоторых случаях появление вторичных электронов не приводит к какому-либо ухудшению работы прибора, и с ним поэтому можно не считаться. Но иногда выбитые электронным потоком вторичные электроны нарушают нормальную работу прибора, поэтому, как будет рассказано в дальнейшем, для устранения их вредного действия приходится принимать специальные защитные меры.

КАТОДЫ

Как уже отмечалось, в большинстве электронных приборов нужный для их работы поток электронов получается путем нагревания металлического проводника электрическим током до такой температуры, при которой начинается электронная эмиссия. Способ нагревания проводника не имеет принципиального значения: важно лишь нагреть металл до нужной температуры, но практически проще и удобнее всего произвести нагрев, пропуская по проводнику электрический ток.

Такой проводник обычно представляет собой сравнительно тонкую металлическую проволоку, помещенную внутри баллона, из которого откачан воздух. Проволоку называют по аналогии с обычными осветительными элек-





тролампами *нитью накала.* Концы нити накала выводят из баллона наружу для соединения с источником электрического тока.

Электронная эмиссия из чистого металла начинается, как указывалось выше, при температуре порядка 2 000° С. Такую температуру выдерживает, не плавясь, далеко не каждый металл. Следовательно, для изготовления нити накала нужно выбрать очень тугоплавкий металл. Кроме того, выбор металла для нити накала определяется еще его способностью вытягиваться в тонкие нити. Толщина нити накала очень важна: чем толще нить, тем больший потребуется ток для ее накала.

Из всех металлов наиболее подходящим для нитей накала оказался вольфрам. Вольфрам дает хорошую электронную эмиссию при температуре 2 000—2 200° С — при температуре белого каления. Такой нагрев в вакууме вольфрам выдерживает в течение очень долгого времени, чем обеспечивается большой срок службы лампы. Первые электронные приборы — радиолампы с вольфрамовыми нитями накала и стеклянными баллонами — во время работы ярко светили, почему их и назвали «лампами». Это название удержалось за ними до сих пор, несмотря на то, что современные радиолампы совсем не светят, иногда имеют металлический непрозрачный баллон и по внешнему виду совсем не похожи на лампы.

Чисто вольфрамовые нити накала дают удовлетворительную эмиссию, но их накал обходится довольно дорого. Наиболее экономичные электронные приборы с накаливаемой нитью из чистого вольфрама потребляли ток накала около половины ампера.

В результате ряда исследований были найдены способы резкого увеличения эмиссионной способности нагретой нити или, как говорят, способы ее активирования — повышения ее активности в отношении излучения электронов.

Один из первых способов активирования нити накала заключался в добавлении к вольфраму небольшой примеси другого металла — тория. Такие нити получили название торированных.

Торированные нити уже при температуре около 1 500—1 600° С давали такую же эмиссию, как чисто вольфрамовые при температуре, превышающей 2 000° С.

Однако у торированных нитей был крупный недостаток: даже при очень небольшом перекале нити торий быстро улетучивался и нить теряла свою способность давать большую эмиссию при малом накале. Про такую нить говорят, что она потеряла эмиссию: нить цела, накаливается, но не излучает электроны.

Вскоре было найдено, что покрытие нити накала тонким слоем бария дает большую эмиссию, чем при торировании. Бариевые нити давали хорошую эмиссию при еще меньшем накале, чем торированные. Но они также отличались тем, что теряли эмиссию при перекале.

В настоящее время наибольшее распространение получили оксидированные нити накала, вольфрамовая основа которых покрыта оксидами — соединениями окислов некоторых щелочноземельных металлов (бария, стронция). Оксидные покрытия обладают способностью весьма значительно облегчать вылет электронов из металла. Нити, обработанные таким образом, обеспечивают вполне достаточную эмиссию уже при температуре около 700—900° С, т. е. при мало заметном оранжево-красном накале. Естественно, что уменьшение температуры нагрева позволяет расходовать ток меньшей величины, т. е. повышает экономичность питания нити. Следует отметить, и то, что при снижении температуры можно делать нити более тонкими, сохраняя при этом достаточно большой срок службы. Если же нить накаливается до очень высокой температуры, то ее нельзя делать слишком тонкой, потому что при высокой температуре, соответствующей белому накалу, металлы интенсивно распыляются, что сокращает срок службы нити.

Малый ток накала оксидированной нити дает возможность применять в качестве ее основы не только вольфрам, но и менее тугоплавкие и более дешевые металлы, например никель.

Нить накала только что рассмотренного типа является в электронных приборах излучателем электронов. В практических схемах использования этих приборов эти излучатели всегда соединяются с отрицательным полюсом (минусом) основного источника питания, почему они и называются *катодами*. Поэтому нить накала, служащую для излучения электронов, можно назвать катодом.

Но нужно отметить, что раскаленная нить не всегда служит непосредственным излучателем электронов. Иногда она используется только в качестве источника тепла, с помощью которого разогревается другое металлическое тело, являющееся уже источником нужных для работы лампы электронов. Иначе говоря, функции подогрева и излучения электронов не всегда бывают объединены, т. е. нить накала не всегда бывает катодом.

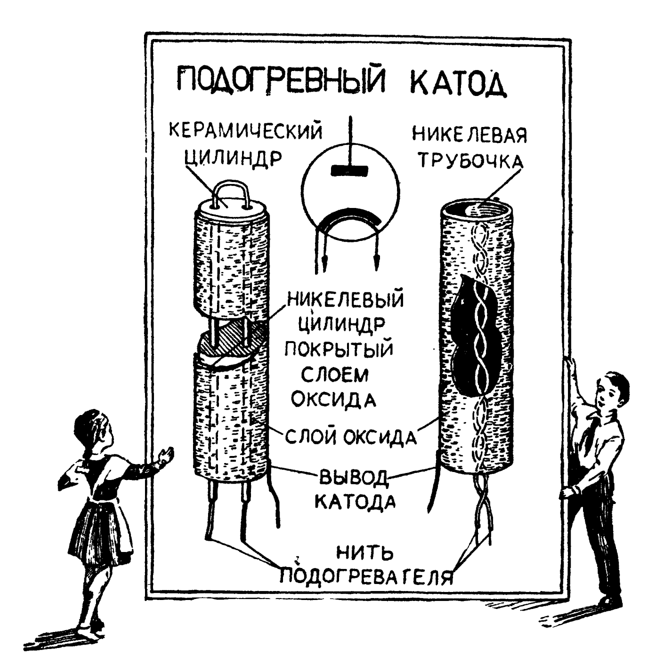
Так, например, если катод выполнен в виде тонкой нити, то такую нить удобно питать постоянным током от гальванических элементов или от аккумулятора, так как для ее накала требуется небольшой ток; катод оказывается экономичным.

Но для питания переменным током тонкие нити накала не годятся.

Для нормальной работы электронных приборов надо, чтобы катод все время излучал одинаковое количество электронов. Для этого его температура должна поддерживаться строго постоянной. При питании нити от батарей или аккумуляторов это условие выполняется. Но при питании нити переменным током оно уже не может быть соблюдено. Переменный осветительный ток 100 раз в секунду меняет свою величину и направление (дважды в течение каждого периода). 100 раз в секунду ток достигает наибольшей величины и столько же раз уменьшается по нуля. Совершенно очевидно, что и температура нити накала будет испытывать колебания в соответствии с изменениями величины тока, а вместе с тем будет изменяться и количество излучаемых электронов.

Правда, вследствие тепловой инерции нить не успеет полностью охладиться в те мгновения, когда ток переходит через нулевое значение, но все же колебания ее температуры и величины электронной эмиссии оказываются очень заметными. Это обстоятельство не позволяло раньше пользоваться таким удобным источником тока, как осветительная сеть, для питания электронных приборов, в которых использовалась тепловая эмиссия электронов. Многочисленные попытки сделать нить накала пригодной для нагрева переменным током путем увеличения ее толщины были мало успешны. Полное решение этого вопроса дала лишь реализация предложения нашего ученого А. А. Чернышева об устройстве *подогревного катода.*

Подогревные катоды в настоящее время применяются во всем мире. Большая часть электронных приборов всех

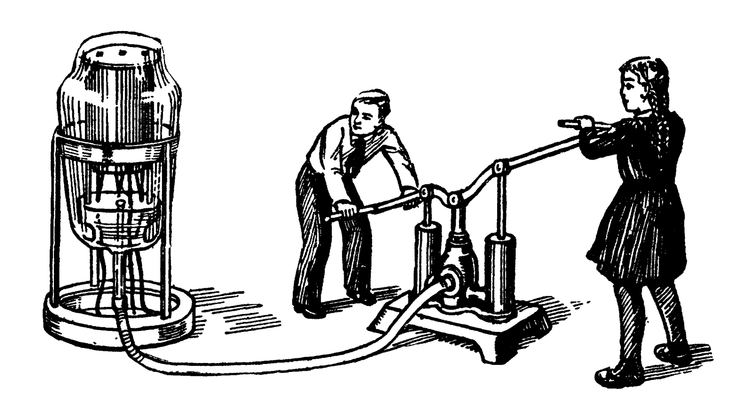


типов предназначена для питания от осветительной сети переменного тока и имеет подогревные катоды.

В подогревных катодах нить накала сама по себе уже не является источником, излучающим электроны. Непосредственный излучатель электронов изолирован от нити и лишь подогревается ею. Отсюда и произошло название «подогревный» катод. Масса излучателя делается достаточно большой для того, чтобы он не успевал охладиться во время уменьшения величины подогревающего тока. Само собой понятно, что такие катоды не могут давать эмиссию немедленно после включения тока накала. Их разогрев занимает примерно от 15 до 30 *сек.*

Конструкции подогревных катодов бывают различными, но принцип их устройства в общем одинаков. В старых конструкциях подогреватель выполняется в виде керамической трубочки диаметром около миллиметра с двумя сквозными каналами по ее длине. В эти каналы пропускается подогревная нить. В более современных конструкциях слой теплостойкой изоляции наносится непосредственно на нить подогревателя.

Для этого нить обмазывают составом, который после соответствующей обработки затвердевает, покрывая подо-



греватель теплостойкой оболочкой, обладающей достаточно хорошими изоляционными свойствами при высокой температуре. На подогреватель надевается цилиндрик из никеля, покрытый снаружи слоем оксида, являющийся собственно излучателем электронов, или катодом. У таких катодов имеются три вывода — два от концов подогревающей нити и один от излучателя. Первые два обычно называются выводами нити накала, а третий — выводом катода. Эмиссия подогревного катода совершенно равномерна.

Цилиндрическая форма подогревного катода наиболее распространена, но не является единственной. В некоторых современных электронных лампах применяются катоды торцового типа, в форме стаканчика, дно которого снаружи покрыто оксидом. Такие катоды применяются, в частности, у «маячковых» ламп и электронно-лучевых трубок, с которыми мы встретимся позже.

Если излучателем электронов является сама нить накала, то такой катод иногда называют *катодом прямого накала;* если же нить только подогревает излучатель, то подобное устройство часто называют катодом косвенного подогрева или *косвенного накала.*

Нагретый до нужной температуры катод излучает электроны. Однако если этот катод помещается в воздухе или каком-либо газе, находящемся под давлением нормальным или близким к нормальному, то вылетевшие из катода электроны встречаются с колоссальным количеством окружающих катод молекул и атомов газа и практически не могут пролететь в такой среде сколько-нибудь значительное расстояние. Использовать вылетевшие электроны в подобных условиях нельзя. Поэтому излучающие катоды помещают в специальные баллоны — стеклянные или ме-

таллические, из которых откачан воздух или в которых, как говорят, создан вакуум.

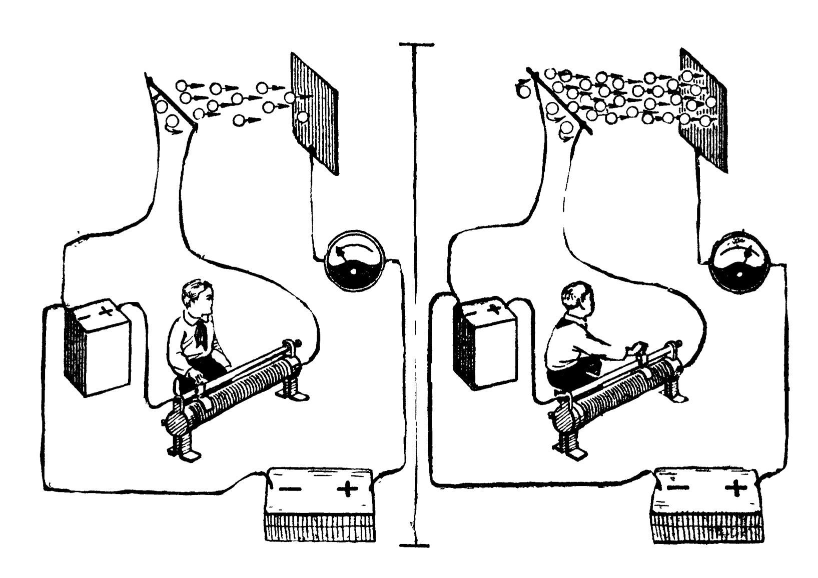
Современные технические средства не позволяют полностью откачать газ из баллонов, но все же достижимые степени вакуума вполне достаточны для нормальной работы электронных приборов. Обычно разрежение газов в баллонах электронных приборов достигает 10^{-7} *мм рт. ст.* (ртутного столба), что соответствует давлению, в 10 млрд. раз меньше атмосферного. В среде столь разреженного газа электроны распространяются практически беспрепятственно. При движении внутри лампы не больше чем один электрон из миллиона встречается на своем пути с молекулой газа.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ПОТОКОМ

Потоком электрически заряженных частиц — электронов или ионов — называется упорядоченное движение какого-то количества этих частиц в определенном направлении. Понятие потока в данном случае противопоставляется понятию хаотического движения частиц в разные стороны, в котором отсутствует какая-либо преимущественная направленность. Чтобы внести полную ясность в понятие «поток», следует отметить, что оно вовсе не означает обязательное движение всех образующих его частиц в одном и том же направлении. Например, электроны, излучаемые катодом, не движутся в одном направлении, они разлетаются от катода во все стороны в направлениях, примерно перпендикулярных поверхности катода в точках их вылета. Но это движение есть движение упорядоченное — движение от центра к окружности.

Как можно управлять таким потоком? Очевидно, тремя способами: увеличением или уменьшением числа движущихся частиц, изменением скорости их движения и изменением направления их движения. Последнее действие может быть двояким: можно изменять направление движения всего потока в целом и можно изменять направление движения отдельных частиц так, чтобы поток становился сходящимся, расходящимся или параллельным. Изменение направления всего потока в целом называется его отклонением, а преобразование потока в параллельный, сходящийся или расходящийся пучок называется фокусированием.

Таким образом, под термином «управление потоком заряженных частиц» мы будем понимать изменение числа



движущихся частиц (изменение интенсивности или «густоты» потока), изменение их скорости, их отклонение и фокусировку. Эти способы управляющего воздействия на поток заряженных частиц могут применяться как порознь, так и в различных сочетаниях.

Наиболее просто осуществить управление электронным (ионным) потоком путем увеличения или уменьшения эмиссии излучателя (катода). Этим способом можно изменять число электронов в потоке, т. е. его величину. Например, в тех электронных приборах, в которых электронный поток получается путем нагревания катода, величина потока зависит от температуры катода. При увеличении тока накала нагрев катода увеличится и эмиссия возрастет. При уменьшении тока накала температура катода понизится и число вылетающих из него электронов станет меньше.

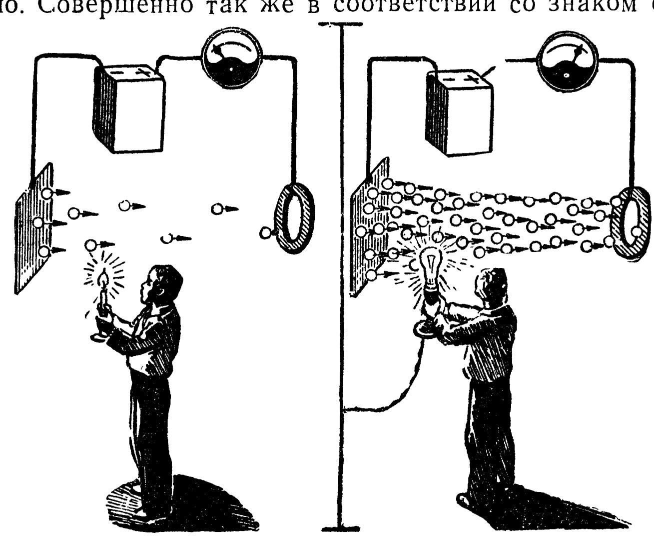
Управление электронным потоком путем изменения его величины широко используется в электронных приборах с фотоэмиссией. Величина эмиссии в этих приборах зависит от степени освещенности фотокатода. Работа большинства приборов этого рода основана именно на изменении величины эмиссии и, следовательно, величины электронного потока в соответствии с изменением освещения катода.

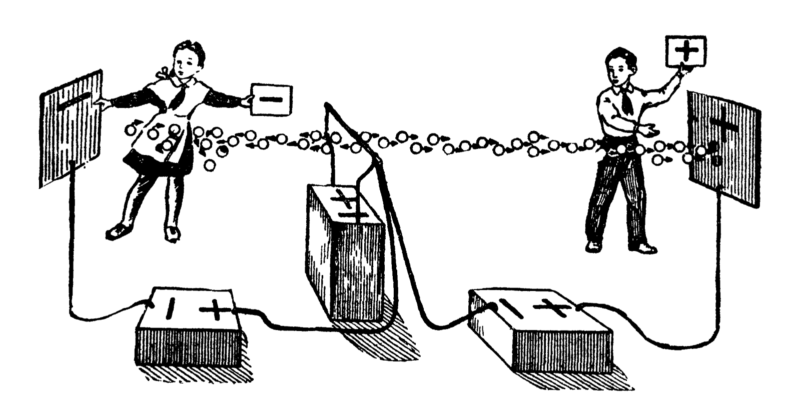
Этот же способ управления применяется и в тех приборах, в которых используется вторичный электронный по-

ток, созданный в результате электронной бомбардировки металла. Здесь управление вторичным электронным потоком сводится к изменению его величины посредством выбивания большего или меньшего количества вторичных электронов. В численно наибольшей группе электронных приборов — с термоэмиссией подобный способ управления электронным потоком не применяется. Объясняется это тем, что между изменениями величины подогревающего катод тока и температуры катода происходит значительное запаздывание, тогда как изменение величины эмиссии фотокатода или величины вторичного потока электронов следует за изменениями освещенности или величины первичного потока электронов практически без всякого запаздывания, а это имеет исключительно важное значение для работы электронных приборов.

Управление электронными и ионными потоками очень удобно производить при помощи электрического и магнитного полей.

Электрон является частицей отрицательного электричества. Как известно, между электрическими зарядами различных знаков наблюдается определенное взаимодействие: разноименные заряды притягиваются друг к другу, а одноименные отталкиваются друг от друга. Поэтому электроны притягиваются к телам, заряженным положительно, и отталкиваются от тел, заряженных отрицательно. Совершенно так же в соответствии со знаком свое-





го заряда ведут себя и ионы, поэтому мы в дальнейшем будем говорить только об электронах.

Между положительно и отрицательно заряженными телами существует электрическое поле. Направление и характер движения электрона в таком поле зависят от скорости электрона и от того, под каким углом он движется по отношению к силовым линиям поля.

Если электрон движется параллельно силовым линиям по направлению к положительно заряженному телу, то его скорость будет возрастать, а направление движения останется без изменения. При движении в обратном направлении, т. е. к отрицательно заряженному телу, скорость движения электрона будет уменьшаться. При известных соотношениях начальной скорости электрона и силы поля электрон может быть остановлен, после чего он начнет двигаться в обратном направлении — к положительно заряженному телу. В практических конструкциях электронных приборов на пути летящих электронов часто помещают проводники в форме сеток, на которые подается заряд того или иного знака и величины. Если на эти проводники подан положительный заряд, то электроны будут им разгоняться и с большой скоростью пролетят через ту решетку или сетку, которую образуют собой проводники. Если на проводники подан отрицательный заряд, то движение электронов будет замедляться. При достаточной величине заряда электроны могут быть совсем остановлены, после чего они начнут двигаться в обратном направлении.

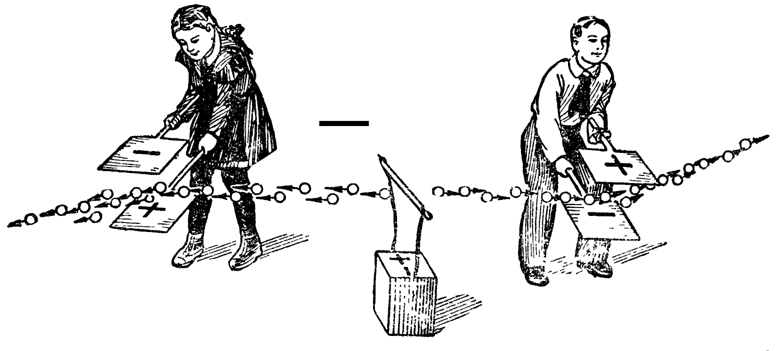
Результат действия отрицательно заряженных проводников, находящихся на пути электронного потока, зависит от величины заряда и скорости электронов. Обычно скорость отдельных электронов не бывает одинакова. Даже

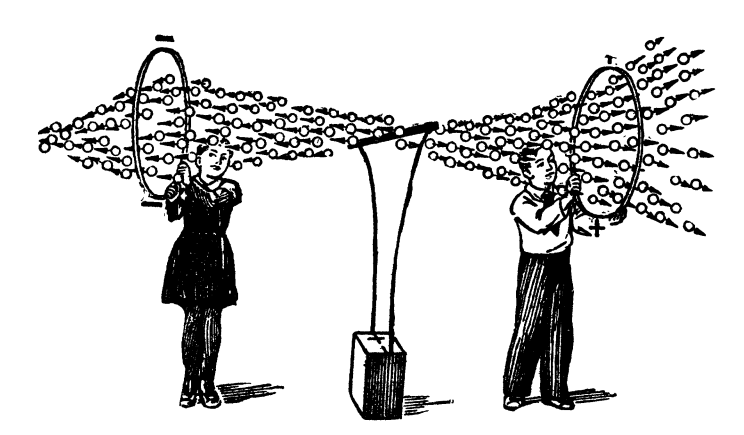
слабого заряда на проводниках сетки бывает достаточно, чтобы оттолкнуть наиболее медленные электроны и, следовательно, уменьшить число электронов, пролетающих сквозь сетку. При увеличении отрицательного заряда сетка будет отталкивать обратно все больше и больше электронов. При некотором определенном заряде ни один из электронов не сможет преодолеть отталкивающее действие сетки: поток будет приостановлен.

Если электроны движутся перпендикулярно силовым линиям электрического поля, то направление их движения изменяется, поток электронов приближается к положительно заряженному телу и удаляется от отрицательно заряженного. Конечный результат зависит от силы поля и скорости электронов. При малой скорости электронов их поток будет полностью остановлен и электроны окажутся притянутыми положительно заряженным телом. При относительно большой скорости потока и слабом поле электроны не будут притянуты, но направление их движения будет в той или иной степени изменено, а именно приблизится в сторону положительных зарядов.

При помощи электрического поля можно и фокусировать поток электронов. Если поток электронов движется между двумя проводниками, заряженными отрицательно, то электроны будут сжиматься к центру потока, поток будет уплотняться, концентрироваться. Если поток электронов будет пропущен между положительно заряженными проводниками, то он под влиянием их притяжения станет расходящимся (разумеется, если скорость электронов слишком мала, то они просто будут притянуты к положительно заряженным проводникам).

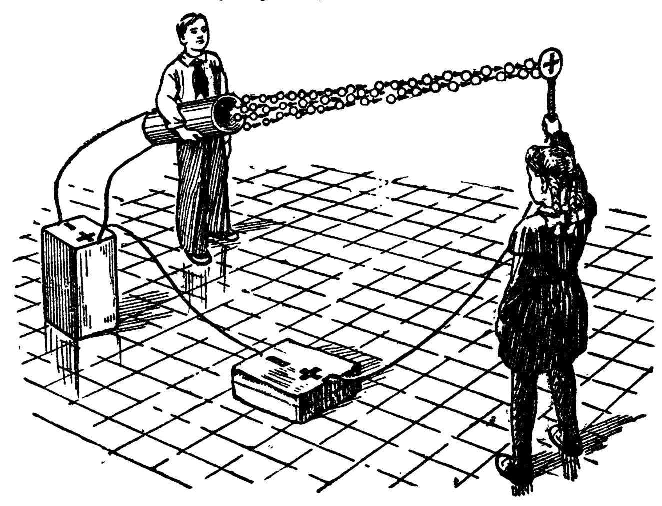
Осуществить фокусировку электронного потока можно и другим способом Если, например, излучатель электронов

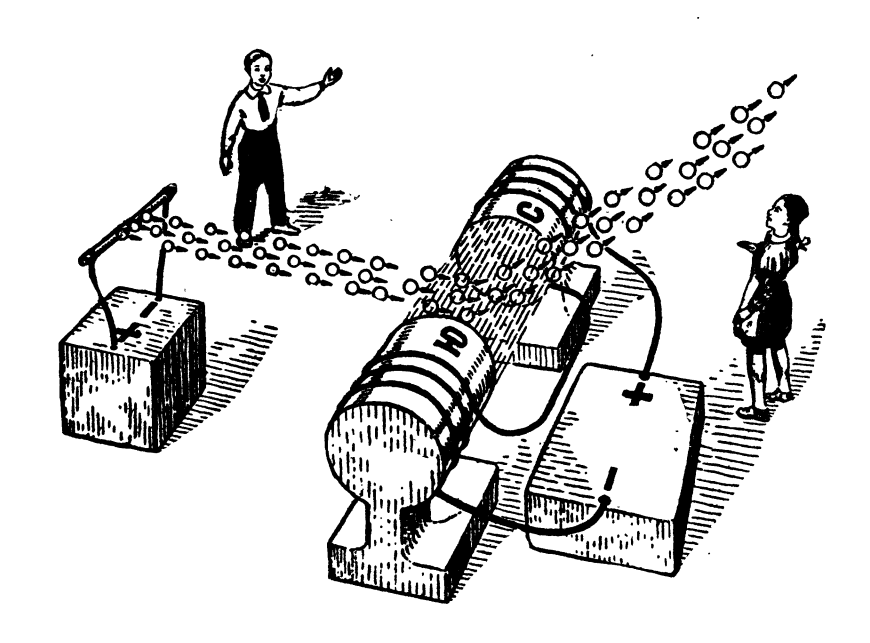




будет иметь вогнутую форму, а положительно заряженный электрод невелик по размерам, то поток электронов примет форму сходящегося пучка. Наоборот, при малых размерах излучателя и большом положительно заряженном электроде поток электронов будет расходящийся.

Таким образом, используя электрические поля различного направления и интенсивности, располагая на пути потока электронов различной формы электроды с зарядами соответствующего знака, можно менять величину электронного потока (число электронов в потоке), скорость и направление движения электронов, осуществляя как их отклонение, так и фокусировку.

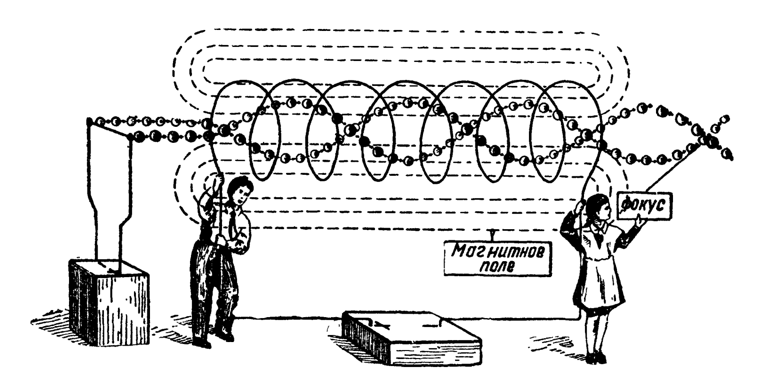




Управлять электронным потоком можно и при помощи магнитного поля. На электроны, летящие вдоль магнитных силовых линий, магнитное поле не действует. Но если электрон влетает в магнитное поле под каким-то углом к его силовым линиям, то направление движения электрона изменяется.

Электрон, влетающий в магнитное поле под прямым углом к его силовым линиям, испытывает отклоняющее действие в направлении, перпендикулярном силовым линиям магнитного поля и направлению движения электрона. Эта отклоняющая сила стремится вытолкнуть электрон из силового поля. Для отклонения электронного потока на его пути помещают магнитное поле, которое в зависимости от направления силовых линий поворачивает электронный поток в ту или иную сторону. Изменением величины поля, очень легко осуществимым при применении электромагнитов, можно изменять угол отклонения электронного потока.

Магнитным полем можно осуществить и фокусировку электронного потока. Если направить расходящийся электронный поток в магнитное поле соленоида (катушки), то электроны начинают двигаться по спиралям, которые при определенных условиях сходятся в одной точке. Эти усло-



вия обеспечиваются подбором скорости электронного потока и интенсивностью магнитного поля соленоида.

Как видно из сказанного, существует много способов управления электронным потоком. В реальных электронных приборах применяются все перечисленные способы, и часто в одном и том же приборе используется в различных сочетаниях несколько способов управления электронным потоком.

Основной характерной чертой управления электронным потоком является необычайная быстрота реакции последнего на воздействия. Изменение управляющего напряжения или управляющего поля сопровождается практически мгновенным изменением интенсивности или направления электронного потока. Именно это обстоятельство и придает электронным приборам те чудесные свойства, которые обеспечили им широчайшее применение во всех областях науки и техники.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

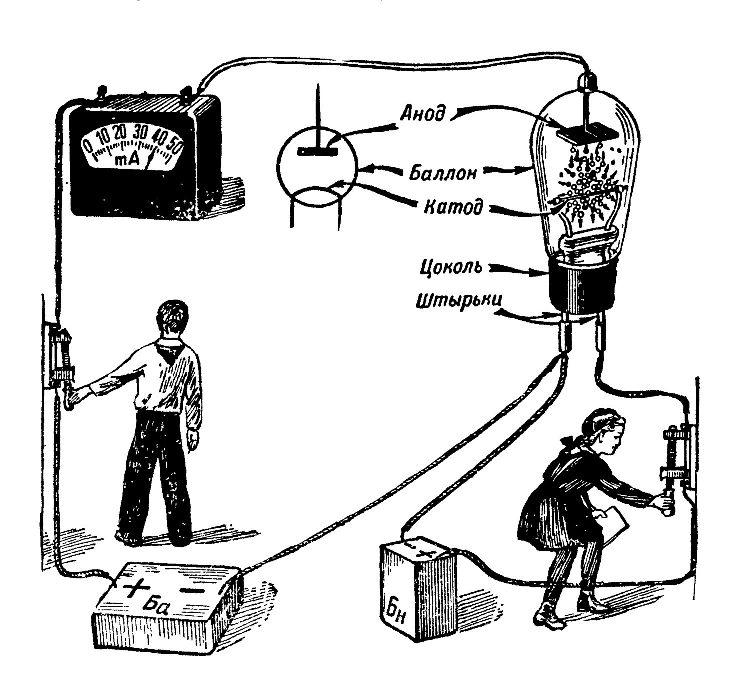
ДИОДЫ

Основной и крупнейший раздел электронных приборов составляют электронные лампы. В электронных лампах используются потоки электронов, излучаемых нагретым катодом. Применяя различные способы управления электронным потоком, можно при помощи этих ламп решать различные задачи, из которых главнейшими являются выпрямление переменных токов, усиление переменных токов, генерирование переменных токов и преобразование переменных токов одной частоты в переменные токи другой частоты.

Особенностью электронных ламп является их пригодность для работы с переменными токами различнейших частот вплоть до самых высоких. Вследствие практического отсутствия инерции электронные лампы могут работать при таких высоких частотах, которые недоступны каким-либо другим устройствам.

Простейшей электронной лампой является *диод.* Слово «диод», основой которого служит греческий корень «ди»— два, означает, что в этой лампе имеются два электрода.

Первый из этих электродов нам уже знаком — это катод, служащий для получения потока электронов и необходимый в каждой электронной лампе, к какому бы типу она ни относилась. Вторым электродом является металлическая пластинка — анод. Таким образом, диод — двухэлектродная электронная лампа — представляет собой стеклянный или металлический баллон, из которого выкачан воздух и внутри которого находятся катод и анод. От этих электродов сквозь стенки баллона проходят выводы. Если баллон стеклянный, то выводы впаиваются в стекло. Если же баллон металлический, то выводы можно сделать, например, через стеклянные бусинки, впаянные в металл.



От анода делается один вывод. Если нить накала одновременно является и катодом, то от нее делаются два вывода (от концов нити). Если катод подогревный, то у него делают три вывода — два от подогревающей нити и один — от излучающего слоя, т. е. от собственно катода.

Внутри баллона лампы создается очень высокий вакуум, вполне достаточный для того, чтобы электроны могли беспрепятственно вылетать из раскаленного катода. Поэтому, если катод диода нагреть до нужной температуры, из него начнется электронная эмиссия и электроны образуют вокруг катода своего рода электронное облачко. Образование этого облачка объясняется тем, что электроны, вылетающие из катода, испытывают отталкивающее действие со стороны ранее вылетевших электронов, поэтому они не могут отлететь на значительное расстояние от катода. Часть электронов, имеющих наименьшие скорости, падает обратно на катод. В конце концов электронное облачко стабилизуется: на катод падает столько же электронов, сколько из него вылетает. Облачко представляет собой запас свободных электронов в вакууме, пригодный для использования.

Второй находящийся в баллоне диода электрод — анод — предназначается для использования электронов, вылетающих из катода, и для управления ими. С этой целью к катоду и аноду лампы подводится электрическое напряжение, например от батареи.

Очевидно, это напряжение можно подвести к лампе двумя способами: минус источника напряжения к катоду и плюс к аноду или наоборот.

Если мы присоединим плюс источника напряжения к катоду, а минус к аноду, то электроны, вылетающие из раскаленного катода, нельзя будет использовать по двум причинам. Во-первых, электроны, покинувшие катод с небольшой скоростью, будут, очевидно, возвращаться обратно на катод, который в этом случае имеет положительный заряд и поэтому будет стремиться притянуть к себе отрицательно заряженные электроны. Во-вторых, электроны, получившие при вылете достаточно большую скорость и концентрирующиеся в виде электронного облачка вокруг катода, окажутся бесполезными, так как отрицательно заряженный анод лампы не только не будет их притягивать, но наоборот — станет их отталкивать обратно к катоду.

Иначе будет обстоять дело тогда, когда мы присоединим плюс источника напряжения к аноду, а минус — к ка-

тоду. Одновременно в цепь батареи включим миллиамперметр. В этом случае включенный в цепь миллиамперметр отметит прохождение тока. Этот ток будет течь по следующей цепи: батарея — катод лампы — пространство между катодом и анодом лампы — миллиамперметр — батарея. Ток в цепи возникает тогда, когда плюс батареи присоединен к аноду, а минус — к катоду. Этим и объясняется название второго электрода лампы: «анод» (в электротехнике анодом принято называть электроды, соединенные с положительным полюсом источника тока, а катодом — соединенные с отрицательным полюсом). В соответствии с этим текущий через лампу ток, образованный потоком электронов, несущихся от катода к аноду, называют *анодным током.* Анодный ток обозначается обычно символом $I_а$, а напряжение на аноде — символом $U_а$. В отличие от него напряжение накала лампы обозначается символом $U_н$.

Чем же определяется величина $I_а$?

Чтобы ответить на этот вопрос, произведем такой опыт. Раскалим катод до нужной температуры и будем подавать на анод положительное напряжение, начиная с самого небольшого и постепенно увеличивая его. При каждом изменении анодного напряжения будем по миллиамперметру отмечать величину тока в цепи. Если мы затем по записанным отсчетам построим график, откладывая на горизонтальной оси величины напряжения на аноде, а на вертикальной — соответствующие величины анодного тока, то получим кривую, подобную показанной на стр. 40.

При отсутствии анодного напряжения, т. е. при $U_а=0$, электроны к аноду не притягиваются, анодный ток будет равен нулю ($I_а=0$). Анодный ток возникнет после того, как на анод будет подано положительное напряжение. По мере его увеличения анодный ток будет возрастать, причем рост его вначале до точки *А* идет медленно, а затем быстрее. Такое быстрое возрастание тока продолжается, пока он не достигнет некоторого значения, соответствующего точке *Б*. При дальнейшем повышении анодного напряжения рост анодного тока замедляется. Наконец, в точке *В* он достигает наибольшей величины. Дальнейшее повышение анодного напряжения уже не сопровождается увеличением анодного тока.

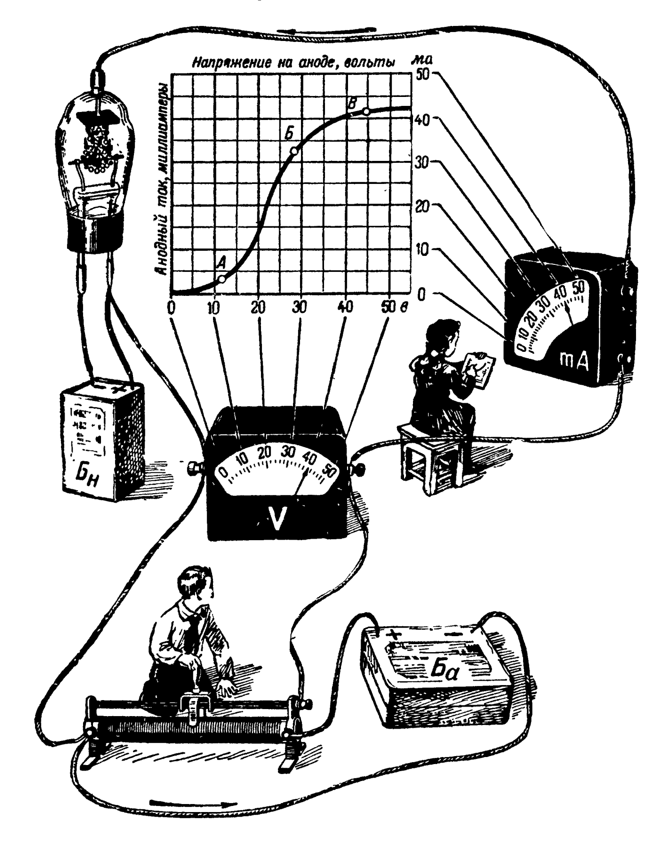
Кривая, показывающая зависимость величины анодного тока двухэлектродной лампы от напряжения на ее аноде,

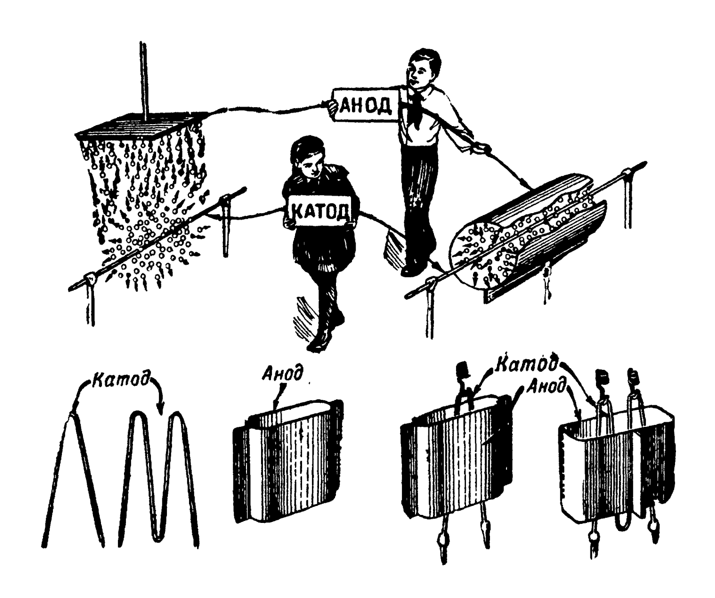
называется характеристикой лампы и служит для технических расчетов, связанных с использованием лампы.

Чем же объясняется такая форма характеристики диода?

Чтобы понять это, проследим за происходящими в лампе процессами.

Вначале, при отсутствии на аноде напряжения, излучаемые катодом электроны скапливаются вокруг него, образуя электронное облачко. При появлении на аноде небольшого положительного напряжения некоторые электроны, обладающие большей скоростью, чем остальные, начинают отрываться от облачка и устремляться к аноду, создавая небольшой анодный ток. По мере увеличения анодного напряжения все большее количество электронов будет отрываться от облачка и притягиваться анодом. Наконец при





достаточно большом напряжении на аноде все электроны, окружающие катод, будут притянуты, электронное облачко совершенно «рассосется». Этот момент соответствует точке *В* характеристики лампы. При таком анодном напряжении все вылетающие из катода электроны будут немедленно притягиваться анодом. Дальнейшее увеличение анодного тока при данной величине накала невозможно. Для этого потребовались бы дополнительные электроны, а их взять негде. Вся эмиссия катода, соответствующая данной его температуре, зависящей от величины накала, исчерпана.

Анодный ток такой величины, какая устанавливается при полном использовании всей эмиссии катода, называется *током насыщения*. Увеличить этот ток можно только одним способом — повысить накал катода, но этот способ не применяется, потому что он сокращает срок службы катода.

До сих пор мы говорили об аноде, как о металлической пластинке находящейся внутри баллона лампы и имеющей вывод наружу. Делать анод действительно в виде пластинки было бы невыгодно, так как катод излучает электроны во всех направлениях, а пластинку можно поместить только с одной его стороны. В практических конструкциях диодов анод обычно имеет форму цилиндра, окружающего

катод. При таком устройстве лампы все излучаемые катодом электроны с одинаковой силой притягиваются анодом.

Цилиндрическая форма анода наиболее выгодна тогда, когда катод имеет прямолинейную форму. Если катод имеет вид латинских букв V или W, что часто делается для увеличения его длины, то анод оказывается более выгодным делать в виде коробки без двух противоположных боковых стенок. Такой анод в сечении имеет прямоугольную форму, часто с закругленными углами.

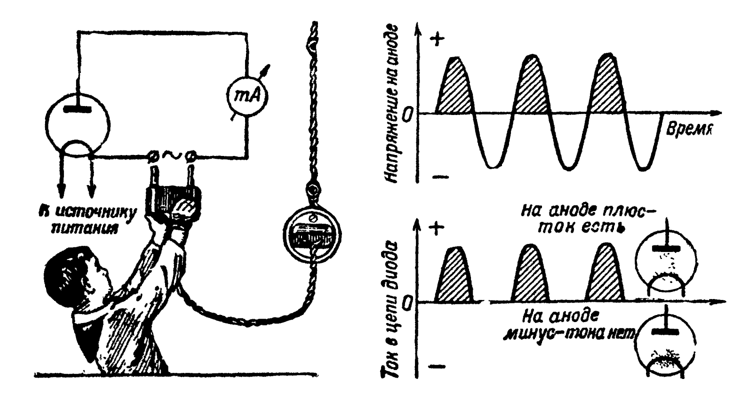
У ламп с подогревным катодом аноду придают такую форму, чтобы он во всех направлениях отстоял по возможности на одинаковом расстоянии от катода. Наиболее широко применяется цилиндрический подогревный катод и соответственно цилиндрический анод. Очень выгодной оказывается эллиптическая форма катода и анода.

Для уменьшения нагрева анода его часто снабжают ребрами, или крылышками, которые способствуют лучшему отводу от него тепла.

Электроды лампы крепятся внутри ее баллона на стеклянной стойке при помощи держателей. Для удобства пользования лампой к ее нижней части прикрепляется цоколь из изоляционного материала, снабженный металлическими ножками-штырьками. Эти штырьки при установке лампы в аппарат входят в гнезда ламповой панельки, чем и достигается, с одной стороны, крепление лампы в аппарате и, с другой, соединение электродов лампы с нужными частями схемы. Электроды лампы соединяются со штырьками выводными проводничками, впаянными в стеклянную стойку (см. стр. 89). Лампы небольших размеров делают без цоколей, укрепляя штырьки непосредственно в стеклянном дне баллона.

Для каких же целей может быть использована двухэлектродная лампа?

Возможности использования этой лампы определяются ее основным свойством — способностью пропускать ток только в одном направлении, так как движение потока электронов возможно в лампе лишь от катода к аноду. Это свойство диода, которое иногда называют *односторонней проводимостью*, является весьма ценным. Оно позволяет использовать диод для преобразования переменного тока в постоянный или, как чаще говорят, для выпрямления переменного тока. Способность диода выпрямлять переменный ток широко используется в радиоаппаратуре, в частности, эта способность диода вместе с применением подо-



гревного катода позволила разрешить проблему питания радиоаппаратуры от осветительной сети переменного тока.

Схема использования диода как выпрямителя переменного тока очень проста. Между катодом и анодом включен источник переменного тока. Понять процессы, происходящие в этой схеме, лучше всего при помощи графика, показанного выше. Верхняя часть графика изображает напряжение источника переменного тока. Оно изменяется периодически с определенной частотой: характер изменения может быть выражен кривой, носящей название синусоиды. С такой же частотой изменяется и напряжение на аноде лампы относительно ее катода. В течение половины каждого периода напряжение на аноде будет положительным, а в продолжение второй половины периода — отрицательным. Положительные полупериоды на графике заштрихованы.

Во время положительных полупериодов на аноде лампы будет положительное напряжение и через лампу будет течь ток. Во время отрицательных полупериодов, когда анод заряжается отрицательно, электроны отталкиваются от анода и ток через лампу не течет. Измерительный прибор, включенный в анодную цепь лампы, будет регистрировать отдельные импульсы или толчки тока, по одному в течение каждой положительной половины периода; следовательно, число таких импульсов в секунду окажется равным частоте переменного тока.

Нормально в цепи переменного тока происходит, как известно, движение электронов то в одну, то в другую сторону. Так как движение электронов представляет собой электрический ток, то можно сказать, что в такой цепи

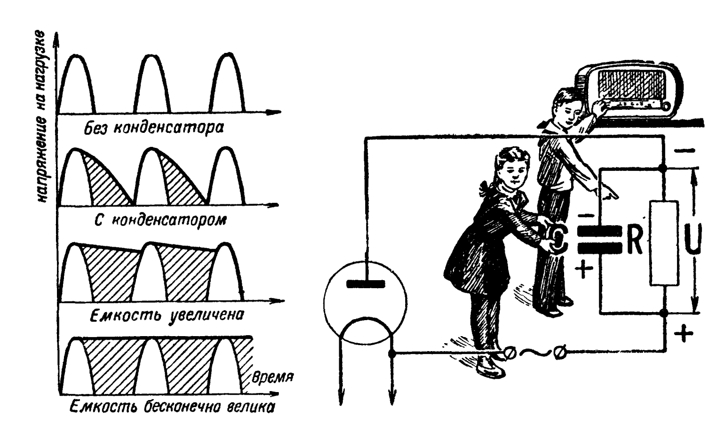
ток течет попеременно то в одну, то в другую сторону. Но если в цепь переменного тока включен диод, то характер движения электронов (тока) изменяется. Ток будет течь лишь в одну сторону, но отдельными импульсами или толчками. Во время каждого периода будет один толчок тока. Эти толчки будут чередоваться с промежутками, в течение которых тока не будет.

Если источником переменного тока является осветительная сеть, то частота будет равна 50 *гц*. Значит, 50 раз в секунду на аноде диода окажется положительное напряжение и по цепи пройдет толчок или импульс тока. Такой ток называется *пульсирующим*, в данном случае частота пульсации равна 50 *гц*.

Выпрямление осветительного переменного тока является одним из весьма распространенных применений диода. Диоды, предназначенные для этой цели, получили даже специальное название — *кенотронов*. В радиоаппаратуре с питанием от сетей переменного тока, и, в частности, в сетевых радиоприемниках, применяют чаще всего кенотронные выпрямители.

Однако кенотронный выпрямитель такого простого типа, какой был нами только что описан, лишь в сравнительно редких случаях пригоден для использования. Его недостаток состоит в том, что он дает пульсирующее напряжение. Чтобы разобраться в этом явлении, представим себе, что в цепь нашего выпрямителя включен какой-то потребитель тока — приемник, усилитель или какой-либо другой аппарат. В технике принято называть потребителей, пользующихся энергией из какой-нибудь цепи, нагрузкой. В соответствии с этим сопротивление R, олицетворяющее собой нагрузку, называется сопротивлением нагрузки, нагрузочным сопротивлением, а иногда для краткости и просто *нагрузкой* (см. рис. на стр. 45).

При прохождении тока через сопротивление нагрузки R на нем образуется падение напряжения U. Знак и величина этого напряжения зависят от направления и величины тока. Поскольку пульсирующий ток в цепи диода течет всегда в одном направлении, знак напряжения на нагрузке будет постоянным, но величина его окажется переменной. В течение положительного полупериода переменного тока напряжение на нагрузке будет возрастать вместе с током, дойдет до наибольшего значения, затем уменьшится до нуля. Во время отрицательного полупериода переменного тока напряжения на нагрузке вообще не будет. Следова-



тельно, в итоге на нагрузке создастся пульсирующее напряжение, то появляющееся, то снова исчезающее. Между тем для питания большинства приборов и аппаратов требуется постоянное напряжение, знак и величина которого строго постоянны. Поэтому пульсирующее напряжение, которое дает наш простейший выпрямитель, надо превратить в постоянное, надо, как говорят, сгладить пульсации. Такое сглаживание производится при помощи специальных фильтров.

Простейшим фильтром является конденсатор *C*, присоединенный параллельно нагрузке *R*. Во время прохождения по цепи импульса выпрямленного тока конденсатор этот зарядится напряжением, равным по величине наибольшему падению напряжения на нагрузке. Когда ток в цепи начнет уменьшаться, падение напряжения на сопротивлении *R* должно было бы точно также уменьшаться. Но наличие конденсатора меняет картину. При уменьшении величины тока в цепи конденсатор начнет разряжаться через сопротивление нагрузки, поддерживая этим самым в нагрузке ток такого же направления. Поэтому при разряде конденсатора на сопротивлении нагрузки образуется падение напряжения такого же знака, как и при прохождении выпрямленного тока.

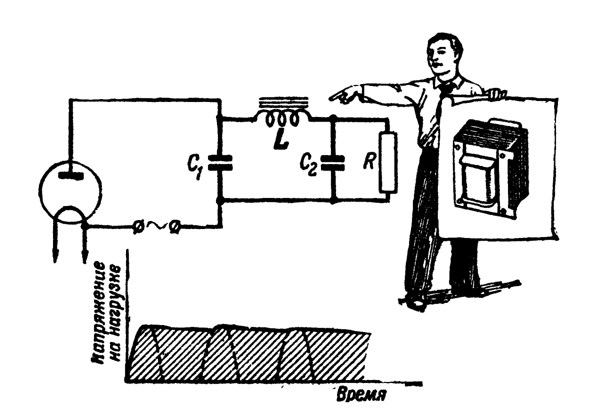
По мере разряда конденсатора напряжение на его обкладках будет постепенно уменьшаться до тех пор, пока он не разрядится окончательно. Вместе с этим будет постепенно уменьшаться и падение напряжения на сопротивлении нагрузки.

Такая компенсация уменьшения напряжения может быть показана графически. Незаштрихованная часть кри-

вой представляет собой ток, полученный в результате выпрямления. Он является пульсирующим. Заштрихованная часть кривой представляет собой ток, образованный в нагрузке за счет разряда конденсатора. Хотя ток и остается пульсирующим, но характер пульсаций изменился. Периоды, когда ток отсутствует, исчезли, хотя величина тока все же уменьшается очень значительно. Заряд, накопленный на конденсаторе, позволил заполнить просветы между импульсами выпрямленного тока.

Чем больше емкость конденсатора, тем больше и его заряд и, следовательно, тем дольше он сможет поддерживать ток в нагрузке. Если емкость конденсатора достаточно велика, то он не успевает разрядиться до нуля за время отрицательного полупериода переменного тока, и поэтому ток в нагрузке не прекратится, а лишь уменьшится. Если бы емкость конденсатора была бесконечно велика, то конденсатор вообще не успевал бы разрядиться и напряжение на нагрузке оставалось постоянным. Поэтому на практике всегда стремятся сколь возможно увеличивать емкость конденсатора фильтра.

Дальнейшее улучшение сглаживающих свойств фильтра достигается путем введения в него дросселя L — катушки со стальным сердечником, обладающей большой индуктивностью, и второго конденсатора C_2. Дроссель обладает свойством препятствовать нарастанию и убыванию тока в цепи и поэтому способствует сглаживанию пульсации выпрямленного тока. Назначение второго конденсатора C_2 такое же, как и первого C_1. В результате действия такого фильтра на нагрузке получается постоянное напряжение,



практически лишенное пульсации. В фильтрах недорогих аппаратов, потребляющих небольшой ток, вместо дросселей иногда применяют сопротивления.

В рассмотренной нами схеме выпрямителя кенотрон пропускал ток в течение одного полупериода. Второй полупериод не использовался. Можно значительно улучшить выпрямитель, включив в схему не один кенотрон, а два. Проследим, как будет проходить выпрямленный ток в такой схеме.

Переменное напряжение на аноды ламп будем подавать через трансформатор, вторичная обмотка которого имеет от середины отвод, соединенный с катодами. Напряжение на концах этой обмотки будет периодически изменяться относительно ее средней точки: в течение одной половины периода оно будет положительным на одном конце и отрицательным на другом. Во время второй половины периода полярность будет обратной.

Как же будут в таких условиях работать кенотроны?

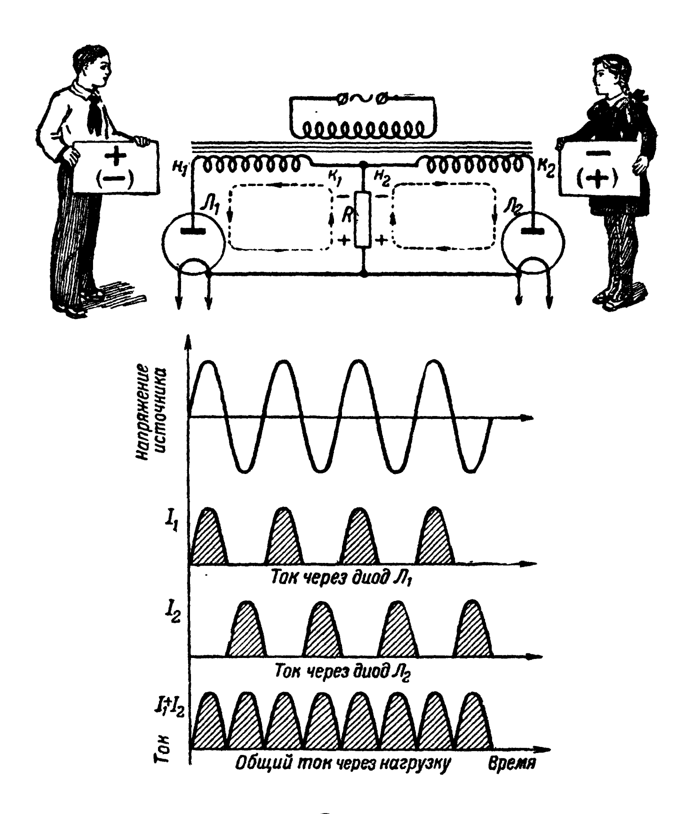
Пусть в некоторый начальный момент напряжение на конце обмотки H_1, а следовательно, и на аноде кенотрона $Л_1$ положительно. Кенотрон $Л_1$ будет пропускать ток, который пройдет по сопротивлению нагрузки R и создаст на нем падение напряжения, полярность которого показана на схеме. На аноде второго кенотрона в это время будет минус, и ток в его цепи не возникнет.

В следующий полупериод картина изменится. Положительное напряжение появится на аноде лампы $Л_2$. Ток через лампу $Л_1$ прекратится, он потечет уже через лампу $Л_2$. Но направление тока в нагрузке от этого не изменится. Как в первой, так и во второй половине периода ток будет «выходить» из одного из концов обмотки, проходить через тот или иной кенотрон и «возвращаться» через нагрузку в середину обмотки. Ток в нагрузке в течение обеих половин периода будет одинакового направления.

Такая схема выпрямления называется *двухполупериодной* в отличие от первой, рассмотренной нами, которую называют *однополупериодной.*

На схеме, которую мы только что рассматривали, показаны два диода — два одноанодных кенотрона. Нельзя ли упростить устройство и заменить две лампы одной?

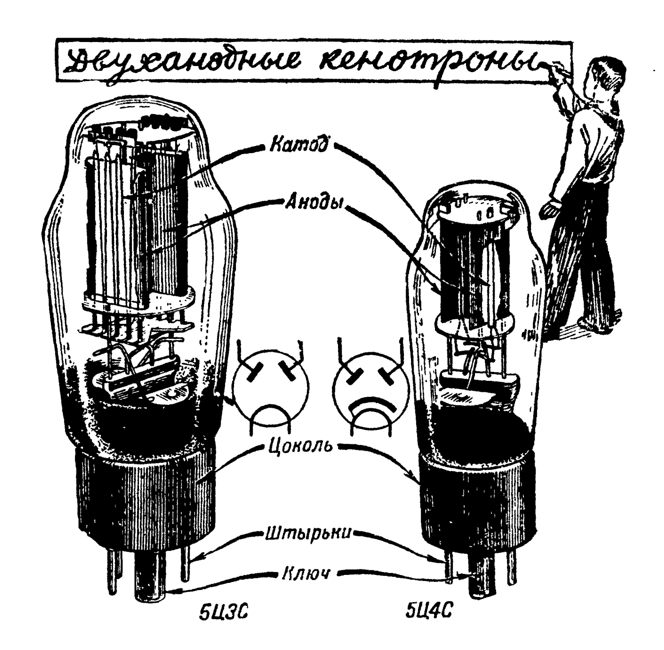
Сделать это можно. Из схемы видно, что катоды обеих ламп соединяются вместе, значит, у этих ламп может быть один общий катод. Аноды у ламп должны быть отдельные, потому что они присоединены к двум различным точкам



обмотки трансформатора. Следовательно, можно сделать лампу, у которой будет один катод и два анода, одна эта лампа заменит два отдельных диода.

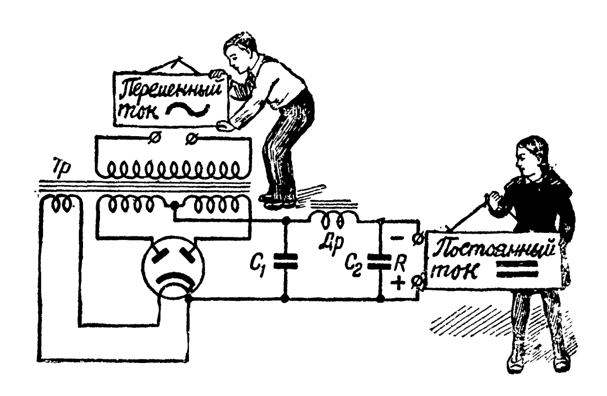
Большинство кенотронов имеет два анода, почему их и называют *двуханодными кенотронами*. Такие кенотроны работают в выпрямителях наших радиоприемников. Наиболее распространены кенотроны 5Ц4С, 6Ц5С, 6Ц4П. Но выпускаются и одноанодные кенотроны. Например, в телевизорах для выпрямления очень высокого напряжения применяются одноанодные кенотроны 1Ц1С или 1Ц11П.

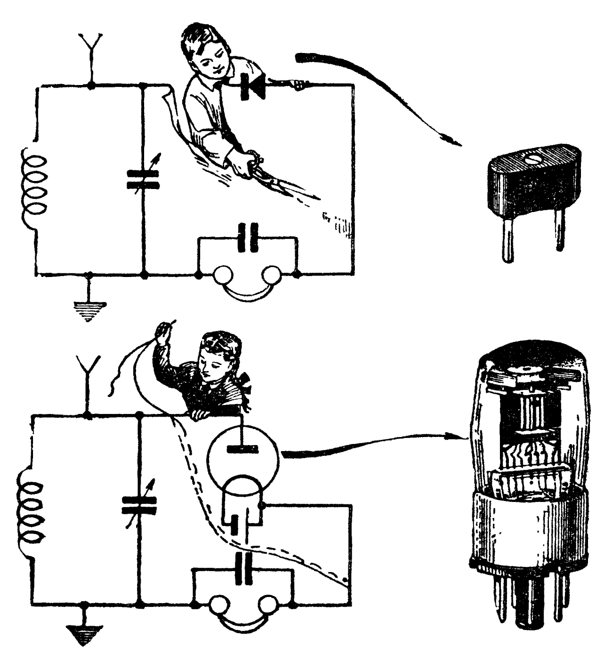
Полная практическая схема двухполупериодного выпрямителя несложна. Выпрямитель состоит из трех частей: трансформатора, кенотрона и фильтра. У трансформатора три обмотки — сетевая, включающаяся в осветительную сеть, накала кенотрона, с которой соединяется нить накала кенотрона и повышающая, с концов которой подается напряжение на аноды кенотрона; может быть еще обмотка



накала ламп, работающих в том аппарате, который питается от выпрямителя. Повышающая обмотка обычно содержит больше витков, чем сетевая, и напряжение на ней выше напряжения сети.

Применение диодов не ограничивается выпрямлением переменного тока для питания радиоаппаратуры. Диоды могут выпрямлять токи высокой частоты, т. е. применяться для так называемого детектирования. Ниже показано, как





в детекторном приемнике можно заменить кристаллический детектор диодом.

Фактически в простейших детекторных приемниках ламповые диоды для детектирования не применяются, так как это значительно усложнило бы приемник и привело бы к необходимости применения батареи накала. Но зато в ламповых радиоприемниках для детектирования применяются почти исключительно диодные детекторы. Кроме того, диоды применяются в приемниках для устройства автоматических регулировок и некоторых других целей.

Принцип работы кенотронов для выпрямления промышленного переменного тока и диодов для детектирования высокочастотных сигналов одинаков, но по конструкции эти лампы существенно отличаются одни от других.

У высокочастотного диода собственная емкость между анодом и катодом должна быть сведена к возможно меньшей величине. Размеры электродов и расстояние между ними также должны быть минимальными. Токи, выпрямляемыми детекторными диодами, обычно очень малы и измеряются долями или единицами миллиампера.

У кенотронов электроды должны быть порядочных размеров, чтобы обеспечить возможность получения достаточ-

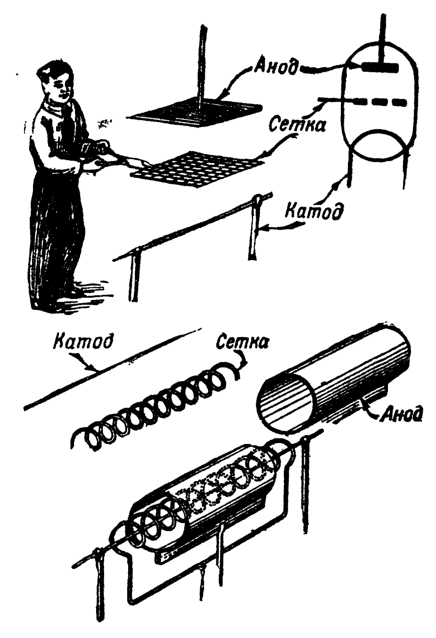
но большого выпрямленного тока и рассеяния на своих анодах той мощности, которая выделяется на них вследствие их бомбардировки электронами.

Если требуется небольшой выпрямленный ток, то в качестве кенотрона можно использовать детекторный диод, например 6Х6С или 6Х2П, которые с успехом будут выпрямлять ток промышленной частоты. Но обратного, т. е. замены детекторного диода кенотроном, делать нельзя, так как кенотрон по своей конструкции совершенно не приспособлен для работы в цепях высокой частоты.

ТРИОДЫ

Электронные лампы приобрели свои исключительно ценные свойства лишь после того, как в диод был введен третий электрод — сетка. Введение в диод сетки коренным образом изменило весь характер работы лампы и открыло перед ней огромные возможности.

Сетка помещается между катодом и анодом. Название «сетка» объясняется тем, что в первых триодах (трехэлектродных лампах) этот электрод действительно представлял собой сетку или решетку. В дальнейшем сетку начали делать в виде проволочной спирали, окружающей катод, но первоначальное название «сетка» удержалось за этим электродом до настоящего времени.



Какую же роль выполняет сетка?

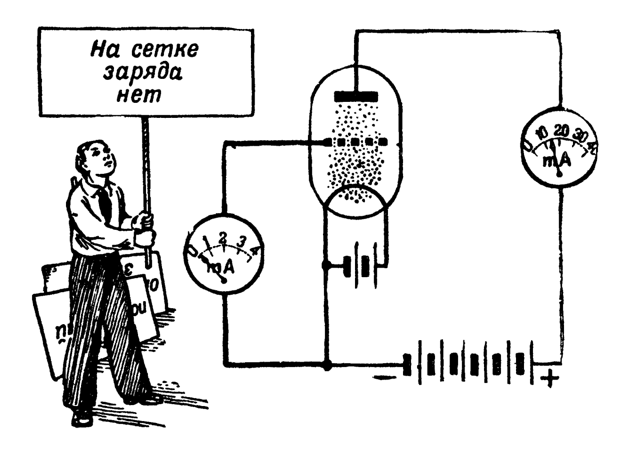
Работа триода, как всякой электронной лампы, основана на существовании электронного потока между катодом и анодом. Сетка находится между этими электродами, поэтому электроны, устремляющиеся от катода к аноду, встречают ее на своем пути.

Разумеется, сетку нельзя рассматривать как механическое препятст-



вие для электронов. Промежутки между витками сетки, как бы густа она ни была, всегда будут огромны по сравнению с размерами электронов. Если, например, представить себе электрон в виде футбольного мяча, то расстояния между витками сетки в том же масштабе будут равны расстоянию между планетами нашей вселенной.

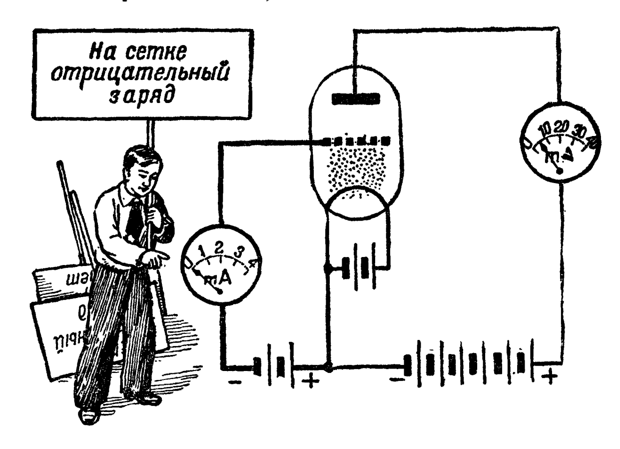
Сетка, как и другие электроды, имеет вывод наружу. Посмотрим, изменится ли что-либо в работе лампы, если вывод сетки присоединить к катоду. При таком соединении сетка приобретет потенциал катода. Между сеткой и катодом не будет никакого электрического поля, поэтому витки сетки не окажут действия на электроны, летящие от катода к аноду. Возможно, что отдельные электроны, столкнувшись с витками сетки, застрянут на них. Но в этом случае сетка зарядится отрицательно по отношению к катоду и излишние электроны немедленно стекут с нее на катод по соединительному проводнику, выравнивая, таким образом, потенциалы сетки и катода.

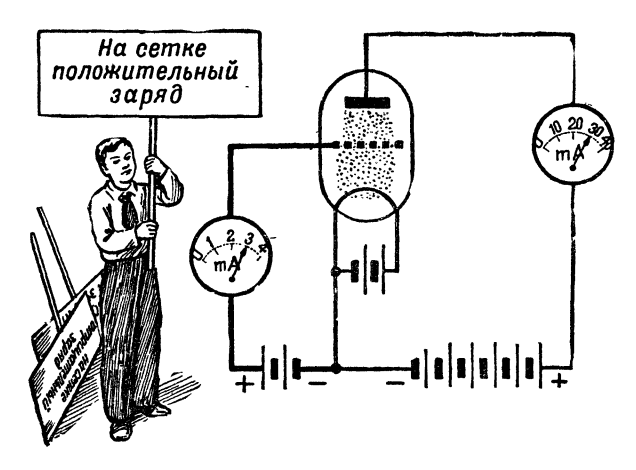


Положение резко изменится, если сообщить сетке какой-либо потенциал относительно катода. Осуществить это можно, включив, например, между катодом и сеткой батарею.

Если батарея окажется включенной так, что сетка зарядится отрицательно, то она начнет отталкивать летящие электроны обратно к катоду. Если в анодную цепь лампы включен измерительный прибор, то он зарегистрирует уменьшение анодного тока. Прорываться к аноду сквозь сетку смогут лишь те электроны, которые обладают достаточно большой энергией, т. е. достаточно большой скоростью.

При значительном отрицательном напряжении на сетке даже те электроны, которые обладают наибольшей ско-





ростью, не смогут преодолеть ее отталкивающее действие и будут повернуты назад к катоду. Анодный ток прекратится. Лампа, как говорят, будет «заперта».

Если батарею (которую мы назовем сеточной) присоединить так, что сетка будет заряжена положительно относительно катода, то возникшее между катодом и сеткой электрическое поле станет ускорять движение электродов. В этом случае прибор в цепи анода покажет увеличение анодного тока. Теперь смогут достигать анода и те электроны, которые при вылете из катода обладали малой скоростью и без помощи сетки не смогли бы преодолеть путь до анода.

Чем выше положительный потенциал сетки, тем больше она способствует увеличению скорости электронов, излучаемых катодом. В соответствии с этим возрастает и анодный ток. При этом, разумеется, некоторая часть электронов притягивается и к сетке, но при правильной конструкции лампы количество этих электронов невелико по сравнению с общей эмиссией катода. Подавляющее число электронов вследствие притяжения сеткой получает столь большое ускорение, что проскакивает через промежутки между ее витками и устремляется к аноду, притяжение которого еще больше ускоряет их. Лишь те электроны, которые на своем пути сталкиваются непосредственно с витками сетки или оказываются в непосредственной близости от них, притянутся к сетке и создадут в ее цепи ток, получивший название *сеточного тока.*

Однако по мере увеличения напряжения на сетке количество притягиваемых ею электронов увеличивается,

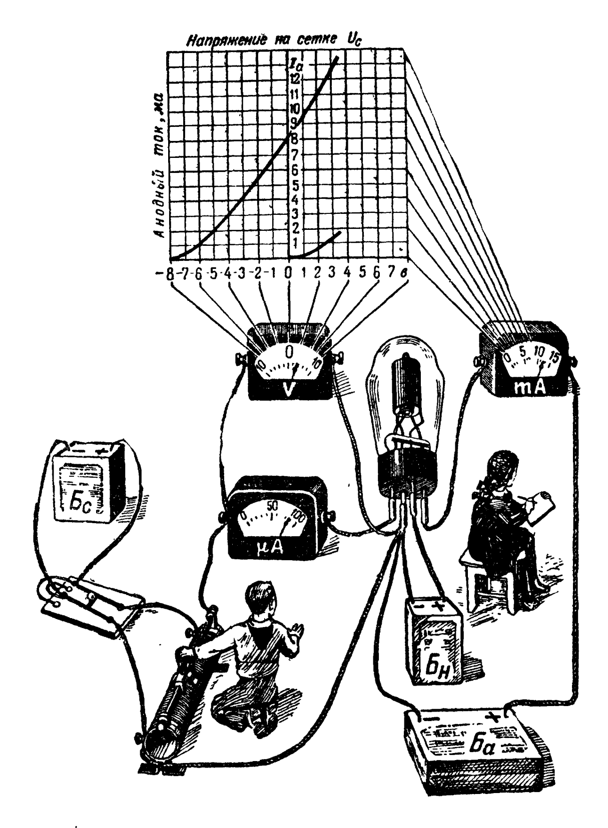
и при значительном напряжении сеточный ток может стать очень большим.

Процессы, происходящие в цепях анода и сетки трехэлектродной лампы, можно наглядно показать при помощи графика. На горизонтальной оси графика откладывается сеточное напряжение в вольтах, а по вертикальной — величина анодного тока в миллиамперах. Точка пересечения осей, т. е. начало координат, соответствует нулевому потенциалу сетки. Вправо от нее откладывается положительное напряжение, влево — отрицательное.

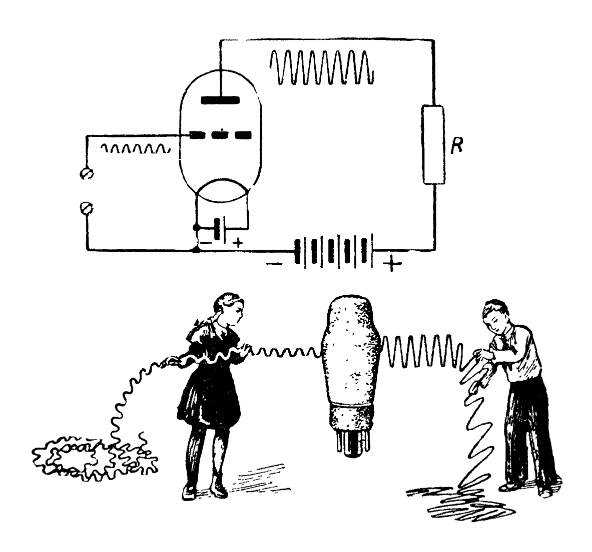
Для получения данных, нужных для построения графика, соберем схему, которая даст возможность изменять по желанию напряжение на сетке при неизменном напряжении на аноде и, разумеется, при неизменном напряжении накала. Отложив на графике величины анодного тока, соответствующие различным значениям напряжения на сетке, в виде кривой, мы получим так называемую характеристику триода, показывающую зависимость анодного тока лампы от величины и знака напряжения на сетке.

При некотором отрицательном напряжении на сетке анодный ток прекращается, становится равным нулю. Эта точка считается началом характеристики, так как достаточно самого малого уменьшения отрицательного напряжения на сетке, чтобы анодный ток возник. На приведенном для иллюстрации графике этой точке соответствует напряжение на сетке, равное — 8 *в* (см. стр. 56).

На графике изображена и характеристика сеточного тока, который начинается примерно при нулевом напряжении сетки и возрастает по мере увеличения положительного напряжения на ней. Влево от нуля, в области отрицательных напряжений на сетке, ток в ее цепи отсутствует. Однако анодный ток в этой области имеется и величина его зависит от значения отрицательного потенциала сетки. Сетка управляет величиной анодного тока, не потребляя на себя никакого тока, т. е. не потребляя энергии. Она ведет себя как электрическая заслонка, регулирующая доступ электронов к аноду лампы, но не расходующая энергии на свою работу. Это обстоятельство вместе с уже отмеченным ранее мгновенным изменением величины анодного тока при изменениях напряжения на сетке представляет собой замечательную особенность электронных ламп с сеткой, обеспечивающую им самые разнообразные применения.



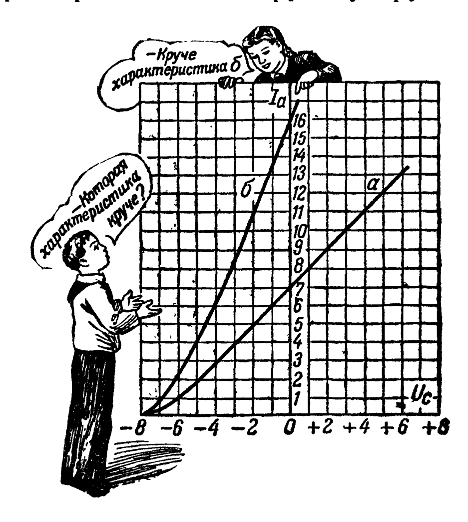
На использовании управляющего действия сетки и основана способность лампы усиливать. Увеличивая или уменьшая напряжение на сетке, мы тем самым заставляем анодный ток соответственно ослабляться или возрастать, причем изменения анодного тока происходят в полном соответствии с изменениями величины напряжения на сетке. Если при этом включить в анодную цепь лампы нагрузку — некоторое сопротивление R, то анодный ток, проходя по нему, будет создавать на нем падение напряжения. Любое увеличение или уменьшение анодного тока приведет к изменению величины падения напряжения на нагрузке. Но мы уже знаем, что изменения анодного тока в свою очередь имеют такую же форму, как и переменное напряжение на сетке, поэтому и форма изменения напряжения на анодной нагрузке будет такой же. Однако при этом изменения напряжения на анодной нагрузке будут во много раз боль-



ше по величине, потому что малые изменения напряжения на сетке создают большие изменения величины анодного тока.

Колебания напряжения на анодной нагрузке будут представлять собой как бы увеличенную фотографию колебаний напряжения на сетке.

Наклон характеристики у различных ламп неодинаков. У одних характеристика идет круче, у других — более по-



лого. Очевидно, что чем круче поднимается характеристика, тем сильнее будут сказываться изменения сеточного напряжения на величине анодного тока и, следовательно, тем больше будет усиление лампы.

Из этого можно сделать вывод, что чем круче характеристика лампы, тем большими усилительными способностями она обладает. У нас выпускались раньше и выпускаются в последнее время разные типы триодов. Широко применялись триоды 6С5С и 6С4С, теперь выпускаются триоды 6С1П, 6С2П, 6С3П, 6С3Б, 6С6Б, 6С7Б и др.

ПАРАМЕТРЫ ТРИОДА

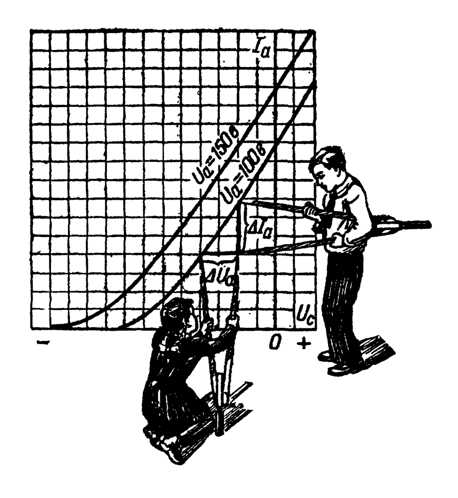
Для оценки ламп и для их сравнения пользуются специальными числовыми показателями, носящими название *параметров*.

То свойство лампы, о котором мы только что говорили, называется *крутизной характеристики* или просто *крутизной*. Этот параметр показывает, насколько круто поднимается характеристика лампы, т. е. насколько резко изменяется величина анодного тока при изменениях напряжения на сетке.

Крутизна характеристики обозначается буквой S и выражается в миллиамперах на вольт (*ма/в*). Физически крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на ее сетке на 1 *в*. Для определения графическим способом крутизны характеристики надо построить на ней прямоугольный треугольник, гипотенузой которого служит исследуемый участок характеристики, а катетами — линии, параллельные горизонтальной и вертикальной осям графика.

В таком треугольнике горизонтальный катет показывает величину изменения напряжения на сетке, а вертикальный — соответствующее изменение величины анодного тока лампы. Обозначим анодный ток символом $I_а$, а напряжение на сетке символом $U_с$. Как принято в физике и технике, греческая буква Δ — дельта, стоящая перед обозначением какой-нибудь физической величины, обозначает небольшое увеличение, называемое приращением этой величины.

На нашей фигуре вертикальный катет определяет величину приращения анодного тока, т. е. $\Delta I_а$, а горизонтальный катет — соответственно $\Delta U_с$. Взяв отношение $\frac{\Delta I_а}{\Delta U_с}$, т. е.



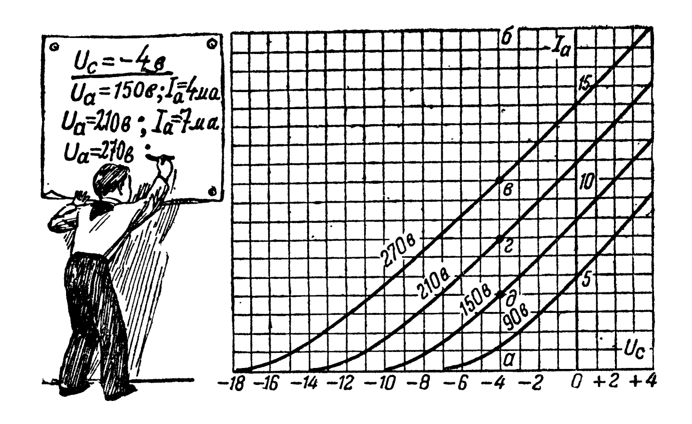
$\frac{\text{приращение анодного тока (миллиамперы)}}{\text{приращение напряжения на сетке (вольты)}}$, мы получим значение крутизны характеристики в *ма/в*. Если, например, изменение напряжения на сетке на 2 *в* приводит к изменению анодного тока на 3 *ма*, то крутизна характеристики

$$S = \frac{\Delta I_а}{\Delta U_с} = \frac{3}{2} = 1{,}5 \text{ ма/в}.$$

Если бы характеристика лампы представляла собой прямую линию, то крутизна, измеренная в разных ее точках, была одинаковой. В действительности же начальная (нижняя) часть характеристики более полога, чем остальная. Обычно лампа ставится в такие условия работы или, как часто говорят, в такой режим, при котором ее анодный ток изменяется в процессе работы только в пределах прямолинейной части характеристики. Поэтому, как правило, крутизну характеристики определяют именно для прямолинейного участка.

Величина крутизны характеристики зависит от конструкции лампы: крутизна тем больше, чем ближе сетка к катоду и чем больше эмиссия катода.

Та характеристика, которую мы только что рассматривали, получена при анодном напряжении $U_a = 100$ *в*. Если снять характеристику при более высоком анодном напряжении, например при 150 *в*, то она расположится на графике выше первой, потому что увеличение анодного напряжения приводит к возрастанию анодного тока.



Характеристики одной и той же лампы, снятые при разных анодных напряжениях, идут почти параллельно друг другу, причем характеристики, снятые при более высоком анодном напряжении, располагаются выше и левее, а снятые при более низком — ниже и правее. Ряд характеристик, снятых при разных напряжениях, называют *семейством характеристик*.

Из характеристик видно, что есть две возможности влиять на величину анодного тока триода: изменяя напряжение либо на его аноде, либо на сетке. При этом для одинаковых изменений анодного тока нужны неодинаковые изменения анодного или сеточного напряжения. Чтобы уяснить связь между этими величинами, сделаем такое построение. Проведем через семейство характеристик лампы вертикальную прямую *а—б* через точку, соответствующую отрицательному напряжению на сетке —4 *в*. Точки *в*, *г* и *д*, в которых эта прямая пересечет характеристики, будут указывать величину анодного тока при одном и том же напряжении на сетке, но при разных анодных напряжениях.

Увеличение напряжения на аноде и на сетке, как мы знаем, приводит к увеличению анодного тока. Но анод расположен дальше от катода, чем сетка, поэтому он притягивает электроны слабее. Для увеличения анодного тока на одну и ту же величину требуется гораздо меньшее изменение напряжения на сетке, чем на аноде. У лампы, характеристики которой показаны выше, изменение напряжения на сетке на 3 *в* (с —4 до —1 *в*) вызывает изменение анодного тока на 3 *ма*. Если же напряжение на сетке оставить неизменным, равным —4 *в*, то для того чтобы

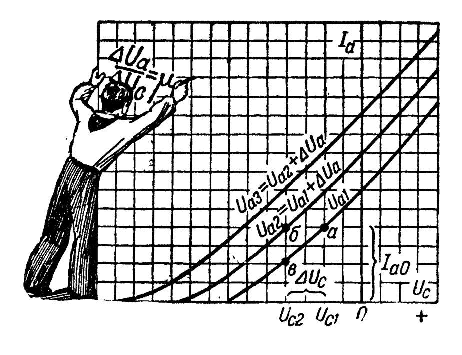
анодный ток возрос на те же 3 *ма,* потребуется повышение анодного напряжения на 60 *в* (со 150 до 210 *в*). Если для увеличения анодного тока на 3 *ма* потребовалось в 20 раз большее увеличение анодного напряжения по сравнению с сеточным (анодное на 60 *в*, а сеточное на 3 *в*), то можно сказать, что управляющее действие сетки на величину анодного тока в 20 раз больше управляющего действия анода.

Число, показывающее, во сколько раз сетка действует на анодный ток сильнее, чем анод, называется коэффициентом усиления лампы и обозначается греческой буквой μ (мю).

Следовательно, для того чтобы добиться такого же увеличения (или уменьшения) анодного тока, какое производит изменение напряжения на сетке на U *в*, надо изменить анодное напряжение на μU *в*.

Коэффициент усиления можно определить из семейства характеристик лампы. Ниже изображено несколько характеристик лампы. На нижней из них отмечены две точки *в* и *а*. Для того чтобы увеличить анодный ток на величину, соответствующую двум делениям вертикальной шкалы, надо изменить напряжение на сетке на ΔU_c. Если начальное напряжение на сетке было равно U_{c2}, то после изменения его на ΔU_c оно станет равно U_{c1}.

Из чертежа видно, что при сохранении напряжения на сетке равным U_{c2} можно получить такое же увеличение анодного тока, повысив анодное напряжение на величину ΔU_a (с U_{a1} до U_{a2}), так как точки *в* и *б* находятся на одной вертикальной линии. Значит, изменение сеточного напряжения на ΔU_c производит такое же действие на величину анодного тока, как и изменение анодного напряжения



на ΔU_a. Взяв отношение $\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}$, мы получим величину коэффициента усиления лампы μ.

Если, например, изменение напряжения на сетке на 0,5 *в* приводит к такому же изменению анодного тока, как изменение анодного напряжения на 10 *в*, то коэффициент усиления

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \frac{10}{0,5} = 20.$$

Величина коэффициента усиления определяется конструкцией лампы. Чем гуще сетка, тем больше коэффициент усиления. Причина этого ясна: чем гуще сетка, тем сильнее любое изменение ее напряжения будет воздействовать на поток электронов, летящих от катода к аноду.

Третьим параметром лампы является ее внутреннее сопротивление. С понятием о сопротивлении приходится сталкиваться при рассмотрении любой электрической цепи. Величина тока в цепи определяется соотношением, носящим название закона Ома:

$$\text{ток} = \frac{\text{напряжение}}{\text{сопротивление}};$$

отсюда $\text{сопротивление} = \frac{\text{напряжение}}{\text{ток}}$, или, пользуясь буквенными обозначениями, $R = \frac{U}{I}$.

Анодная цепь триода, т. е. цепь, по которой течет его анодный ток, образуется из источника тока, участка между катодом и анодом лампы и измерительного прибора. Участок анод — катод лампы и является тем сопротивлением, которое определяет величину тока в анодной цепи. Но электронная лампа представляет собой проводник особого рода, отличающийся от обычных проводников, и обладает свойствами, характерными только для нее. Поэтому внутреннее сопротивление лампы нельзя рассматривать как обычное сопротивление.

Пользуясь приведенной выше формулой, можно было бы по анодному напряжению лампы и соответствующему этому напряжению анодному току вычислить сопротивление лампы. Но найденная таким способом величина будет сопротивлением лампы постоянному току, которое никакого интереса не представляет. Электронная лампа чаще всего

используется для усиления переменных напряжений. При этом происходят увеличения и уменьшения анодного тока лампы, и для суждения о ее работе надо знать не простую зависимость между током и напряжением в анодной цепи, а то, как *изменяется* анодный ток при *изменениях* анодного напряжения, поскольку именно это определяет величину напряжения на сопротивлении анодной нагрузки.

На графике, помещенном на стр. 60, видно, что при нулевом напряжении на сетке и анодном напряжении 150 *в* анодный ток равен 8 *ма*. При повышении анодного напряжения до 210 *в* анодный ток возрастает до 11 *ма*. Следовательно, при изменении анодного напряжения на 60 *в* произошло изменение анодного тока на 3 *ма*.

Для большинства вычислений, связанных с работой электронной лампы, представляет интерес именно эта величина, показывающая соотношение между изменениями анодного напряжения и анодного тока, называемое *внутренним сопротивлением лампы*.

$$\text{Внутреннее сопротивление} = \frac{\text{изменение анодного напряжения}}{\text{изменение анодного тока}}.$$

Символически это выражение выглядит так:

$$R_i = \frac{\Delta U_а}{\Delta I_а}.$$

Обозначение R_i введено специально для того, чтобы подчеркнуть, что оно обозначает не обычное сопротивление лампы постоянному току, а ее сопротивление переменному току.

Если $\Delta I_а$ выражено в амперах, а $\Delta U_а$ — в вольтах, то R_i будет выражено в омах.

Величину R_i легко определить из семейства характеристик лампы. В нашем предыдущем примере изменение анодного напряжения на 60 *в* сопровождалось изменением анодного тока на 3 *ма* $= 0{,}003$ *а*, значит внутреннее сопротивление лампы

$$R_i = \frac{\Delta U_а}{\Delta I_а} = \frac{60}{0{,}003} = 20\,000 \text{ ом}.$$

Параметры лампы — крутизна характеристики, коэффициент усиления и внутреннее сопротивление — являются исходными данными для расчетов аппаратуры, в которой применяют электронные лампы.

Между указанными тремя параметрами триода существует легко запоминаемая зависимость:

$$\frac{\text{крутизна характеристики} \times \text{внутреннее сопротивление}}{\text{коэффициент усиления}} = 1,$$

или

$$\frac{SR_i}{\mu} = 1.$$

Усилительное действие лампы всегда оказывается тем лучше, чем больше крутизна ее характеристики. Для многих случаев, например для большинства схем, в которых применены пентоды, зависимость между величиной усиления и крутизной лампы простая: усиление прямо пропорционально крутизне. В большинстве остальных случаев эта зависимость близка к прямой пропорциональности.

Поэтому наиболее важным параметром, наилучшим для оценки качества лампы, является крутизна ее характеристики.

МЕЖДУЭЛЕКТРОДНЫЕ ЕМКОСТИ

Все рассмотренные параметры характеризуют усилительное действие лампы и служат для того, чтобы с их помощью производить необходимые расчеты ламповых схем.

Но кроме этих параметров, необходимо учитывать и еще некоторые свойства лампы, которые зависят от ее конструкции. Это в первую очередь относится к так называемым междуэлектродным емкостям лампы.

Дело в том, что, включая в схему электронную лампу, присоединяя ее к каким-то элементам схемы—к катушкам, конденсаторам, сопротивлениям, мы в то же время присоединяем к этим элементам невидимые, но тем не менее вполне реально существующие емкости. Например, если на входе лампы имеется сопротивление, то с одним концом его оказывается соединена сетка лампы, а с другим — ее катод. Но как у сетки, так и у катода есть некоторая поверхность, а поскольку они находятся на очень небольшом расстоянии друг от друга, то они образуют как бы обкладки конденсатора. Правда, емкость этого конденсатора (емкость сетка — катод) очень невелика, всего порядка нескольких пикофарад, но все же не считаться с ее существованием нельзя. Необходимо учитывать, что емкость сетка — катод присоединена параллельно сопротивлению, следовательно, она его шунтирует, открывает путь пере-

менным токам мимо сопротивления. На рисунке эта емкость показана пунктиром.

Влияние всякого шунта, как известно, тем сильнее, чем меньше его сопротивление. Но емкость обладает неодинаковым сопротивлением для разных частот: чем выше частота колебаний, тем меньшее сопротивление оказывает им данная емкость. Следовательно, с ростом частоты колебаний, подводимых к сетке лампы, влияние входной емкости становится все более заметным: она уменьшает величину сопротивления в цепи сетки для переменных токов.

Если на входе лампы находится колебательный контур, состоящий из катушки и конденсатора, то входная емкость лампы добавится к емкости конденсатора контура.

Точно таким же образом сказывается и емкость на выходе лампы, т. е. там, где присоединяется анодная нагрузка. В этом случае приходится учитывать влияние емкости, образуемой между анодом, к которому присоединяется один конец нагрузки, и катодом, с которым через анодную батарею соединен второй конец нагрузки. Эта емкость носит название емкости анод — катод и имеет величину также порядка нескольких единиц пикофарад, иногда она близка к десятку пикофарад.

Третья емкость, существующая между электродами лампы, это емкость между сеткой и анодом (сетка—анод); ее часто называют проходной емкостью, так как через нее открывается доступ для проникновения переменных токов из анодной цепи лампы обратно в цепь ее сетки. Во многих



случаях эта емкость оказывается наиболее вредной и опасной.

Итак, у лампы имеется три междуэлектродных емкости:

сетка — катод — на входе;
анод — катод — на выходе и
сетка — анод — проходная.

Существует общее правило: чем меньше эти емкости, тем лучше, так как это сводит к минимуму влияние лампы на работу других элементов схемы и способствует выполнению лампой только чисто усилительных функций.

Нельзя забывать, что для соединения внешних цепей схемы с электродами лампы служат металлические проводники — выводы, идущие внутри лампы от этих электродов к ножкам на цоколе. Емкость между этими проводниками входит в значение междуэлектродных емкостей, указываемых в описаниях ламп.

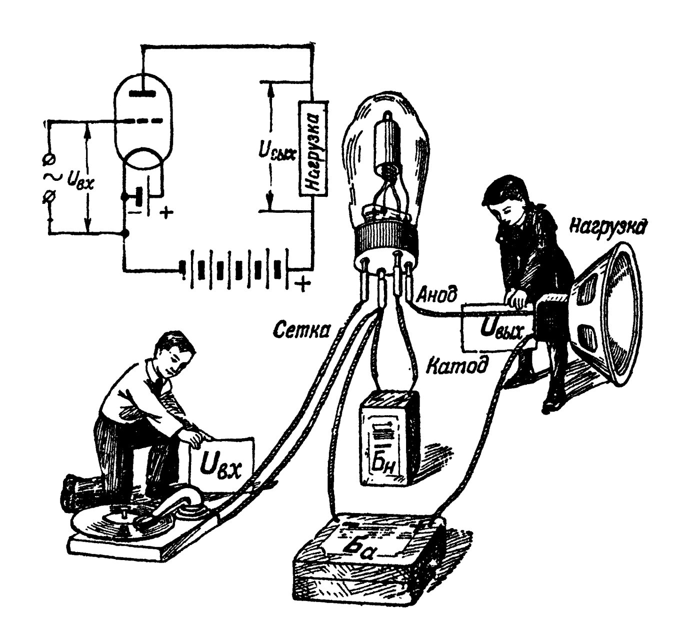
Междуэлектродные емкости, о которых говорилось выше, называют обычно статическими емкостями лампы. Измеряют их у холодной лампы с ненакаленным катодом, и поэтому они характеризуют лампу только с точки зрения ее конструктивных размеров. Когда лампа работает в схеме в качестве усилителя, дело осложняется. В рабочем, или динамическом, режиме входная емкость лампы может оказаться значительно больше ее статической емкости. Она как бы резко увеличивается за счет взаимодействия между различными цепями лампы. Эти взаимодействия носят сложный характер, и подробнее на них мы останавливаться не будем.

Междуэлектродные емкости играют особо большую роль при использовании ламп для работы на ультравысоких частотах. Этот вопрос будет рассмотрен дальше. Но и в ряде других случаев радиотехнической практики междуэлектродную емкость лампы приходится учитывать при расчете и конструировании различной радиотехнической аппаратуры.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИОДА

Основным назначением триода является усиление слабых переменных напряжений, подводимых к его сетке и катоду.

Современной техникой разработано множество различных способов использования усилительных свойств электронных ламп и, в частности, триодов. В основу всех



этих способов положены одни и те же физические явления, с которыми можно познакомиться на примере простейшей усилительной схемы, показанной выше.

В этой схеме усиливаемое входное переменное напряжение $U_{вх}$ подводится к сетке и катоду лампы. В анодной цепи находится нагрузка, на которой колебания анодного тока создают усиленное переменное напряжение $U_{вых}$, называемое выходным. Лампа со всеми элементами ее схемы в цепях сетки и анода образует так называемую усилительную ступень или усилительный каскад.

Величина, указывающая, во сколько раз выходное напряжение больше входного, называется усилением каскада, следовательно,

$$\text{усиление каскада} = \frac{\text{выходное напряжение}}{\text{входное напряжение}}.$$

Обозначив усиление каскада буквой K, мы можем символически написать это равенство так:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

Не следует смешивать усиление каскада K с коэффициентом усиления лампы μ. Величина K всегда будет мень-

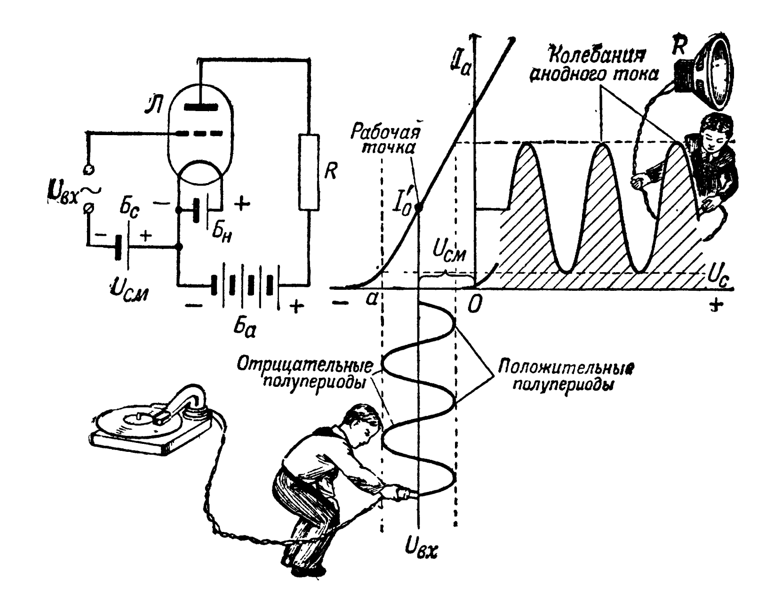
ше μ, т. е. действительное усиление, какое лампа дает в схеме, всегда меньше ее коэффициента усиления.

Для того чтобы было легче понять только что разобранную схему, представим ее в виде реального усилителя. Допустим, что входное напряжение лампа получает от граммофонного звукоснимателя, а нагрузкой в ее анодной цепи служит громкоговоритель. Такая схема представляет собой нечто вроде электропроигрывателя. В действительных схемах радиол работают две-три лампы, а не одна, и сама схема несколько сложнее, но ее принципиальная сущность от этого не меняется.

Чтобы получить от лампы, работающей в качестве усилителя, хорошие результаты, надо подобрать благоприятные условия (правильный режим) ее работы. Главнейшим из таких условий является подача на сетку лампы некоторого постоянного отрицательного напряжения, называемого отрицательным смещением, которое обеспечит работу на прямолинейном участке характеристики и при отсутствии тока в цепи сетки.

С этой целью проще всего между катодом лампы и ее сеткой включить батарейку $Б_с$ так, чтобы ее плюс был обращен к катоду, а минус — к сетке. Из графика на стр. 69 видно, что при таком включении батарейки рабочая, т. е. начальная точка сместится (отсюда и название — сеточное смещение) влево от нуля. При этом как положительные, так и отрицательные амплитуды входного напряжения $U_{вх}$ укладываются на прямолинейной части характеристики лампы. Если бы смещения не было и рабочая точка совпадала с нулем, то при положительных полупериодах входного напряжения возникал бы сеточный ток (см. график на стр. 56), что по ряду причин приводит к искажениям, форма усиленных колебаний становится не тождественной форме подводимых колебаний.

Кроме того, из графика видно, что размах подводимого к сетке переменного напряжения не должен быть слишком велик. При слишком большой величине этих размахов (амплитуд) колебания во время положительных полупериодов будут заходить за нуль, в область сеточных токов, а во время отрицательных полупериодов они будут заходить за нижний перегиб характеристики, за точку *а*. В обоих этих случаях возникнут искажения усиливаемых колебаний. Чтобы искажения не возникали, надо рабочую точку сместить на середину прямолинейной части характеристики между нулем и нижним перегибом, т. е. на сере-



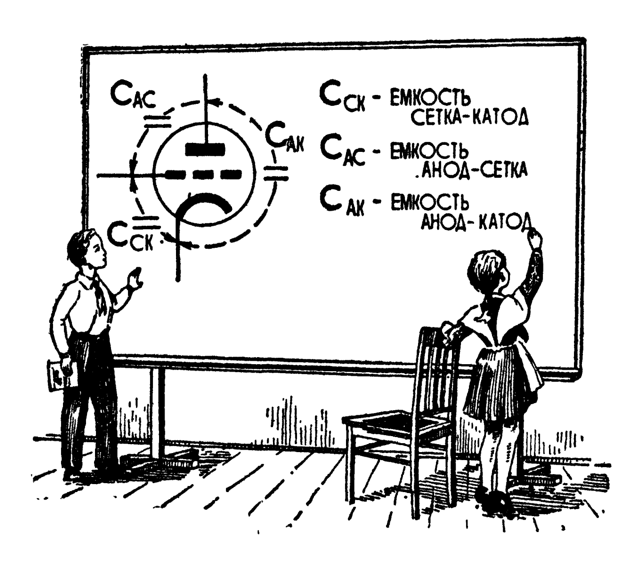
дину участка O—a. Кроме того, надо, чтобы амплитуды приходящих колебаний не превышали половины размеров этого участка: не заходили правее точки O и левее точки a. В этом случае форма колебаний анодного тока и, следовательно, колебаний напряжения на анодной нагрузке будет в точности повторять форму колебаний напряжения, подведенного к сетке лампы, но по размаху колебания на анодной нагрузке будут превосходить их, т. е. лампа усилит их без искажений.

ТЕТРОДЫ И ПЕНТОДЫ

Развитие техники радиоприема, связанное с необходимостью усиления напряжений высокой частоты, выявило один из основных недостатков триода. Было замечено, что усилители на триодах, предназначенные для этой цели, работают неустойчиво и не обеспечивают надежного усиления.

Исследования показали, что причиной этого является наличие значительной емкости между электродами лампы. Вопрос этот очень важен, поэтому на нем стоит остановиться подробнее.

Между любыми двумя проводниками, не соприкасающимися друг с другом, существует электрическая емкость.



Две металлические пластины, разделенные промежутком, образуют конденсатор. Конденсатор, включенный в электрическую цепь, создает непреодолимое препятствие для постоянного тока, но «пропускает» через себя переменный ток, представляя для него лишь некоторое сопротивление. Чем больше емкость конденсатора и чем выше частота переменного тока, тем меньшее сопротивление представляет конденсатор его прохождению. Как мы уже видели, внутри лампы можно различить три таких емкости: между сеткой и катодом, между сеткой и анодом и между анодом и катодом. Анализ работы лампы показывает, что наиболее вредна емкость между анодом и сеткой, обозначаемая обычно $C_{АС}$.

Вредное действие этой емкости можно понять, посмотрев на наши рисунки. Предположим, что лампа должна усиливать напряжение не звуковой, а высокой частоты. На сетку лампы поступают слабые электрические колебания $U_{вх}$. Усиленные колебания этой же частоты, но с напряжением $U_{вых}$, выделяются на анодной нагрузке. Если между анодом лампы и ее сеткой есть емкость $C_{АС}$, то через нее часть усиленного переменного напряжения будет передана из анодной цепи обратно в сеточную. Это напряжение добавится к основному сигналу, действующему в цепи сетки. Напряжение сигнала на входе как бы возрастает, вследствие чего увеличивается и напряжение, выделяю-

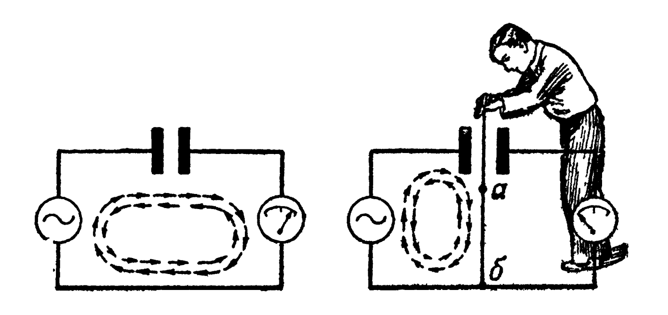
шееся на анодной нагрузке. Это в свою очередь приведет к передаче через емкость анод—сетка в сеточную цепь еще большего напряжения и т. д. В результате работа лампы становится неустойчивой, может возникнуть самовозбуждение и лампа из усилителя колебаний превратится в генератор, т. е. в самостоятельный источник колебаний. Возникновение в усилителе самовозбуждения проявляется в виде сильных искажений и свиста.

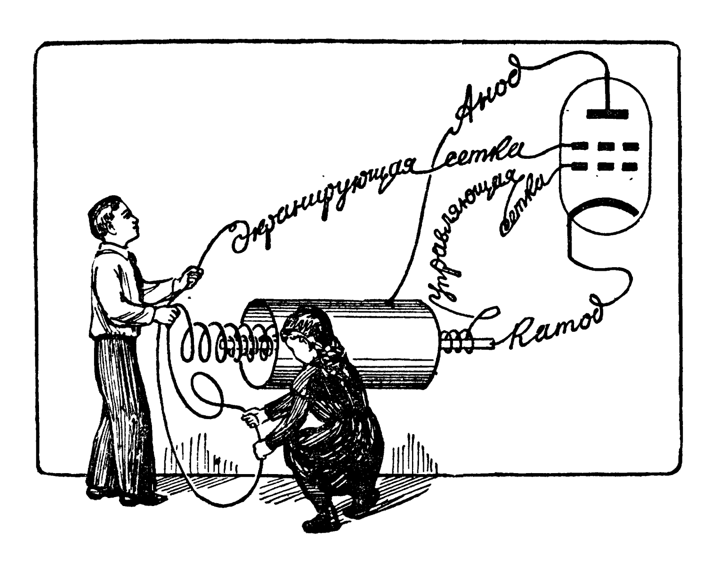
Опасность неустойчивой работы усилителя будет тем больше, чем выше частота переменного тока (тем легче он пройдет через емкость) и чем больше усиление лампы. Это обстоятельство создало весьма серьезные затруднения приему и усилению слабых сигналов высокой частоты и заставило искать способы борьбы с вредным влиянием емкости сетка — анод трехэлектродной лампы.

Физика знает способы уменьшения емкости между двумя проводниками. Такими способами, например, является уменьшение размеров проводников, образующих конденсатор, и увеличение расстояния между ними. Эти способы применялись при конструировании триодов, но значительного эффекта они не дали, потому что чрезмерно уменьшать электроды по ряду соображений нельзя (например, уменьшение размеров анода приводит к необходимости снизить анодный ток и, следовательно, все параметры лампы), а увеличению расстояний между электродами кладут предел размеры лампы и ряд других причин.

Наиболее удобным и легче всего осуществимым способом уменьшения емкости оказалось экранирование.

Сущность этого способа можно пояснить следующим примером. Пусть имеется цепь из конденсатора, источника переменного напряжения и измерительного прибора. В такой цепи будет течь ток, величину которого отметит измерительный прибор.





Поместим теперь между пластинами конденсатора еще одну пластину и присоединим ее к нашей схеме в точке *б*. Когда мы это сделаем, то заметим, что стрелка прибора установилась на нуле: тока в цепи прибора не стало.

Объясняется это тем, что ток теперь потечет по другому, более короткому пути — через емкость между левой и средней пластинами и далее по проводу *а—б*. Путь переменного тока в обоих случаях показан стрелками. В правой части схемы, где находится измерительный прибор, тока не будет, она окажется как бы замкнутой накоротко проводом *а—б*. Это равносильно уничтожению емкости между пластинами конденсатора. Третья пластина явилась экраном, который свел емкость конденсатора к нулю. Важно то, что такой экран не должен быть обязательно сплошным Его можно выполнить, например, в виде достаточно густой сетки — экранирующее действие при этом не изменится.

Подобный экран можно применить и в электронной лампе. Для этого достаточно ввести в нее вторую сетку — спираль, поместив ее между анодом и основной сеткой. Эту дополнительную сетку называют экранной или экранирующей, а основную — управляющей, так как ее напряжение управляет анодным током.

Введение экранирующей сетки приводит к резкому уменьшению емкости между анодом и управляющей сеткой, вследствие чего исключается опасность проника-

ния усиленного напряжения из цепи анода обратно в цепь сетки и становится возможным получение устойчивого усиления колебаний высокой частоты.

Лампы, имеющие экранирующие сетки, называются экранированными или — по числу электродов — тетродами («тетра» по-гречески — четыре).

Экранирующая сетка должна быть конструктивно выполнена так, чтобы, уменьшая емкость между управляющей сеткой и анодом, она в то же время не создавала препятствий электронам в их движении к аноду. Это вполне осуществимо, так как расстояние между витками экранирующей сетки, конечно, не может идти ни в какое сравнение с размерами электрона.

Но действие экранирующей сетки не ограничивается уменьшением вредной или, как ее часто называют, паразитной емкости между управляющей сеткой и анодом. Экранирующая сетка одновременно позволяет значительно улучшить параметры лампы и в первую очередь повысить ее коэффициент усиления.

Объясняется это тем, что на пути электронов к аноду появляется еще одна преграда — дополнительная сетка, значит, действие анода на электроны уменьшается, а чем меньше действие анода на электронный поток по сравнению с действием управляющей сетки, тем больше коэффициент усиления.

На это как будто бы можно возразить, что и у триода можно получить очень большой коэффициент усиления. Мы уже говорили, что чем гуще управляющая сетка лампы, тем больше коэффициент усиления. Следовательно, надо делать сетку очень густой, тогда и коэффициент усиления будет очень большим.

На самом деле это не так. В действительности у триода почти невозможно сделать коэффициент усиления больше 100, и вот почему.

Коэффициент усиления μ показывает, во сколько раз напряжение на сетке действует на анодный ток сильнее, чем напряжение на аноде. Если $\mu = 10$, то это значит, что изменение напряжения на сетке на 1 *в* действует так же, как изменение на аноде на 10 *в*. Подав на анод этой лампы напряжение, например, 150 *в*, мы создадим в ее анодной цепи некоторый ток. Поскольку 1 *в* на сетке лампы действует так же, как 10 *в* на аноде, то очевидно, что, подав на сетку — 15 *в*, мы совершенно прекратим анодный ток; отталкивающее по отношению к электронам действие се-

точного напряжения уравновесит притягивающее действие анода.

Если бы коэффициент усиления лампы был больше, например равнялся 30, то анодный ток прекратился бы при напряжении на сетке—5 *в*, а при $\mu=100$ для прекращения анодного тока потребовалось бы подать на сетку всего — 1,5 *в*.

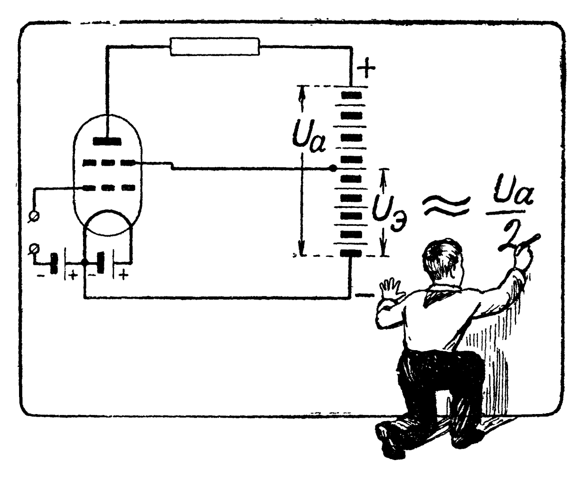
Для работы усилительной лампы используется, как мы видели, участок характеристики между нижним перегибом и точкой, соответствующей нулевому напряжению на сетке. В триоде с большим μ этот участок будет совсем мал: при $\mu=100$ он окажется в лучшем случае немногим больше, чем 1 *в*. Значит, к сетке такой лампы нельзя подводить переменные напряжения с амплитудой больше чем 0,5 *в*, так как в противном случае колебания попадут в область сеточного тока и на перегиб характеристики, что приведет к искажениям.

Это обстоятельство очень ограничивает возможности использования триодов с большим μ. Казалось бы, что их удобнее всего применить для усиления высокой частоты, поскольку напряжение сигналов высокой частоты при радиоприеме всегда бывает очень мало́. Но тут возникает препятствие в виде емкости анод — сетка, которая особенно сильно сказывается при усилении именно высоких частот, а при усилении низких частот, когда вредное действие емкости анод — сетка сказывается меньше, переменные напряжения обычно бывают довольно значительными.

Введение в лампу экранирующей сетки разрешает эту трудность.

Мы до сих пор говорили только о том, что экранирующая сетка находится между управляющей сеткой и анодом, но не касались вопроса о том, с чем же соединена эта сетка. Для того чтобы она выполняла только функции экрана, ее достаточно было бы соединить с катодом, т. е. с нулевой точкой схемы, относительно которой определяется напряжение всех остальных электродов. Но при этом, как и у триода с большим μ, можно использовать только очень малую часть характеристики лампы, что невыгодно.

Но можно присоединить экранирующую сетку иначе— подать на нее положительное напряжение. Картина при этом резко изменится. Анод, отделенный от катода двумя сетками, сам по себе будет оказывать слабое притягивающее действие на электроны. Но экранирующая сетка будет помогать ему в этом. При положительном напряже-



нии на экранирующей сетке электроны получат дополнительное ускорение и устремятся к экранирующей сетке. Напряжение на ней $U_э$ можно сделать меньше, чем на аноде $U_а$. Тогда электроны, приблизившись к экранирующей сетке и приобретя при этом достаточную скорость, испытают сильное притяжение анода и полетят к нему. Небольшое количество электронов окажется при этом притянутым экранирующей сеткой и образует в ее цепи некоторый ток.

Таким образом, экранирующая сетка способствует увеличению анодного тока. Если осуществление в триодах большого коэффициента усиления приводит к резкому уменьшению возможного для использования участка характеристики, то экранирующая сетка, способствуя, с одной стороны, увеличению коэффициента усиления, увеличивает в то же время анодный ток и этим как бы сдвигает всю характеристику лампы влево, позволяя использовать для усиления ее больший участок.

Благодаря этому тетроды могут иметь очень большой коэффициент усиления, доходящий до 500—600, т. е. во много раз больше, чем у триодов. Поэтому от усилительного каскада с тетродом можно получить значительно большее усиление, чем от каскада с триодом.

На экранирующую сетку обычно подается напряжение, примерно вдвое меньшее анодного. Эта сетка играет вспомогательную роль, и ток в ее цепи не используется.

Тетроды такого типа в основном применялись для усиления высокой частоты. Большой коэффициент уси-

ления и малая величина емкости управляющая сетка — анод позволяют очень эффективно использовать их для этой цели.

Экранированные лампы явились значительным шагом вперед по сравнению с трехэлектродными. У нас раньше выпускались тетроды СО-124, СБ-154 и др. Однако практика использования тетродов выявила крупный недостаток, препятствовавший расширению их применения.

Мы отмечали, что экранирующая сетка, находящаяся под достаточно большим положительным напряжением (обычно порядка 50—70 *в*), сообщает электронам, образующим анодный ток, дополнительную скорость. Электроны, летящие с очень большой скоростью, с такой силой ударяются о поверхность анода, что выбивают из атомов металла анода другие электроны. Один электрон, имеющий достаточно большую скорость, может выбить из анода несколько электронов (см. стр. 22). Ударяющийся об анод электрон принято называть первичным, а выбитые им электроны — вторичными.

Каким же образом появление вторичных электронов может отозваться на работе лампы?

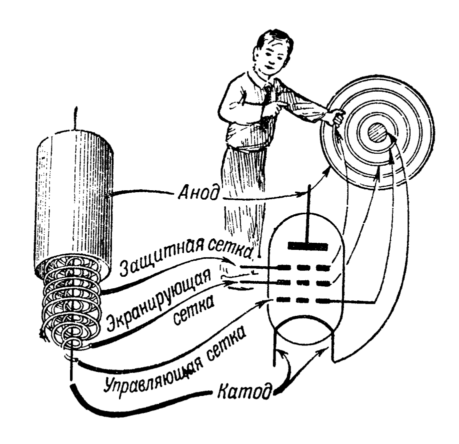
Выбитые из анода вторичные электроны имеют неодинаковые скорости. Электроны, получившие небольшую скорость, под влиянием притяжения положительно заряженного анода быстро теряют ее и падают обратно на анод. Такие электроны не удаляются на большое расстояние от анода, и их появление не сказывается на работе лампы.

Но какая-то часть вторичных электронов получает в результате удара большую скорость, дающую им возможность достаточно удалиться от анода и приблизиться к экранирующей сетке настолько, что ее притяжение превысит притяжение анода. В итоге эти электроны будут притянуты экранирующей сеткой.

В результате в лампе образуются два тока: один — нормальный анодный ток, образованный электронами, вылетевшими из катода, и второй, образованный вторичными электронами, выбитыми из анода, и имеющий противоположное направление. Этот ток обратного направления иногда называют динатронным током, поскольку явление выбивания из анода вторичных электронов известно под названием *динатронного эффекта.*

Динатронный ток, как имеющий обратное направление по отношению к анодному току, вычитается из него. Дина-

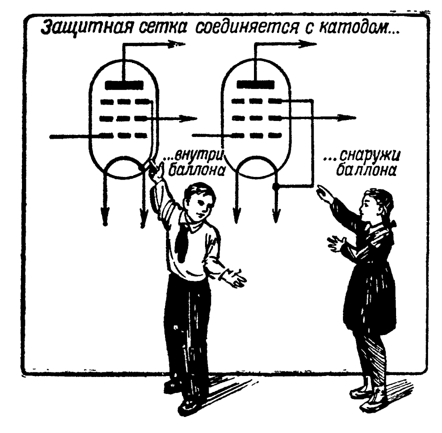
тронный эффект приводит к уменьшению анодного тока лампы. Так как каждый первичный электрон может при известных условиях выбить несколько вторичных, то при некоторых соотношениях напряжений на аноде лампы и ее экранирующей и управляющей сетках динатронный ток может сравняться по величине с «прямым» анодным током и даже превысить его. У лампы, работающей в таком режиме, уменьшение отрицательного напряжения на управляющей сетке будет сопровождаться не увеличением анодного тока, а его уменьшением (из-за возникновения динатронного эффекта). В результате возникнут сильные искажения и может начаться самовозбуждение каскада, т. е. превращение усилительного каскада в генераторный.



Способ устранения неприятных последствий динатронного эффекта очевиден: надо не допускать вторичные электроны приближаться к экранирующей сетке. Осуществить это можно введением в лампу еще одной—третьей по счету — сетки.

Третья сетка располагается между анодом и экранирующей сеткой и соединяется с катодом. Поскольку отрицательный полюс источника анодного напряжения соединен с катодом, то третья сетка оказывается заряженной отрицательно относительно анода. Поэтому выбитые из анода вторичные электроны будут отталкиваться этой сеткой обратно к аноду. В то же время, будучи достаточно редкой, эта сетка не препятствует лететь к аноду электронам основного анодного тока.

Эта третья сетка защищает лампу от возникновения динатронного эффекта и поэтому называется *защитной* или *противодинатронной*. Иногда ее называют *пентодной* сеткой. Происхождение этого названия следующее. Лампы с тремя сетками имеют всего пять электродов (катод, анод и три сетки), такие лампы называют пентодами (от греческого слова «пента»—пять).



Соединение защитной сетки с катодом очень часто производится внутри лампы, и эта сетка, таким образом, не имеет самостоятельного вывода из баллона. В лампах некоторых типов защитная сетка имеет вывод наружу, и ее соединение с катодом осуществляется вне баллона путем соединения соответствующих гнезд ламповой панельки.

Роль защитной сетки не ограничивается предотвращением последствий динатронного эффекта. Ее присутствие отражается на всей работе лампы примерно так же, как и присутствие экранирующей сетки. Поэтому о ней можно сказать то же самое, что мы говорили относительно введения в триод экранирующей сетки.

Защитная сетка, находясь между управляющей сеткой и анодом, как и экранирующая сетка, служит экраном между ними и способствует еще большему уменьшению емкости между этими электродами. Поэтому емкость между анодом и управляющей сеткой у пентодов еще меньше, чем у тетродов.

Защитная сетка, как и экранирующая, ослабляет действие анода на поток электронов по сравнению с действием управляющей сетки, поэтому коэффициент усиления пентодов больше, чем коэффициент усиления тетродов.

У современных высокочастотных пентодов коэффициент усиления доходит до нескольких тысяч (у триодов же, как мы видели, он не бывает больше 100), а емкость управляющая сетка — анод измеряется тысячными долями пикофарады (у триодов — несколько пикофарад).

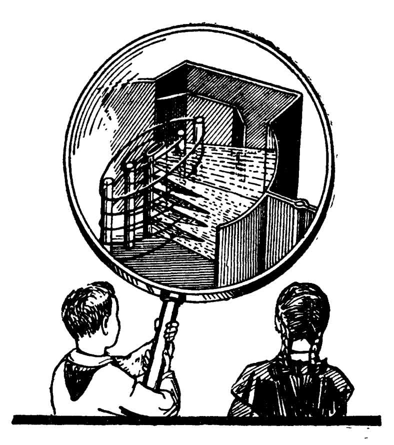
Благодаря большому коэффициенту усиления и малой междуэлектродной емкости пентод является прекрасной лампой для усиления колебания высокой частоты. Но пентоды могут с большим успехом применяться и для усиления низкой (звуковой) частоты. Использование для этой цели экранированных ламп, т. е. тетродов, не представлялось возможным. При усилении низкой частоты к управляющим сеткам ламп подводятся значительно большие

переменные напряжения, чем при усилении высокой частоты, вследствие этого получаются большими и колебания напряжения на аноде, что приводит в тетродах к возникновению динатронного эффекта со всеми его неприятными последствиями. В пентодах динатронный эффект, как мы знаем, не возникает, поэтому их хорошие качества можно использовать и для усиления низкой частоты, в частности и для оконечного усиления.

Конструктивно низкочастотные пентоды несколько отличаются от высокочастотных. Для усиления низкой частоты не нужны слишком большие коэффициенты усиления, но зато необходимо иметь большой запас прямолинейного участка характеристики, потому что усиливать приходится большие напряжения. Для этого у низкочастотных пентодов делают сравнительно редкие экранирующие сетки. При таких экранирующих сетках коэффициент усиления не получается очень большим (в десятки раз меньше, чем у высокочастотных пентодов), а вся характеристика сдвигается влево, поэтому больший ее участок становится пригодным для использования.

Но конструктивное изменение высокочастотных пентодов для использования их в качестве усилителей низкой частоты не ограничивается разрежением экранирующей сетки. Низкочастотные пентоды должны отдавать большую мощность, а для этого требуются большие колебания анодного тока, а так как источником анодного тока является катод, то он у низкочастотных пентодов должен давать большую эмиссию, для чего его поверхность приходится увеличивать. Увеличивать приходится и аноды. При большом анодном токе аноды подвергаются сильной электронной бомбардировке, что приводит к их нагреванию, так как на аноде выделяется или, как говорят, рассеивается большая мощность. Рассеиваемая на аноде мощность тем больше, чем больше электронов в потоке и чем выше их скорость, т. е., иначе говоря, чем больше анодный ток и чем выше анодное напряжение. Тонкие, небольшие по размерам аноды при сильном анодном токе могут раскалиться и даже расплавиться. Чтобы этого не произошло, аноды низкочастотных ламп делают большими и массивными, их часто чернят, так как черные тела лучше излучают тепло и, следовательно, лучше самоохлаждаются, иногда к анодам приваривают специальные охлаждающие ребра.

Следует отметить, что удается конструировать мощные низкочастотные лампы и без защитной сетки. Витки экра-



нирующих сеток в таких тетродах располагают точно за соответствующими витками управляющих сеток. При подобном устройстве сеток электроны, летящие к аноду, будут в гораздо меньших количествах попадать на витки экранных сеток, заслоненные витками управляющих сеток. Электронный поток при этом рассекается на отдельные пучки или лучи. Формированию лучей способствуют специальные пластины — экраны, соединенные с катодом и ограничивающие электронный поток с боков. Расслаивание электронного потока в таких тетродах на отдельные лучи и дало основание назвать их лучевыми тетродами. При такой конструкции лампы удается устранить дина-



тронный эффект, относя анод на точно рассчитанное расстояние от катода и других сеток. Благодаря этому выбитые из анода вторичные электроны не могут долететь до экранирующей сетки и притягиваются обратно анодом, не нарушая работы лампы.

У лучевых ламп удается создать очень выгодную форму характеристики, позволяющую получить большую выходную мощность при небольшом напряжении сигнала на сетке.

Высокочастотные и низкочастотные пентоды, а также лучевые тетроды чрезвычайно широко распространены. У нас наиболее известными высокочастотными пентодами из ламп прежних выпусков являются 2К2М, 2Ж2М, 6К7, 6Ж4, а из более новых 1К1П, 1К2П, 6К4П; из низкочастотных пентодов прежних выпусков — 6Ф6С, а из лучевых тетродов — 2П1П, 2П2П, 6П3С, 6П6С, 6П1П, 6П9, 6П14П.

ГЕКСОДЫ, ГЕПТОДЫ И ОКТОДЫ

Три сетки, имеющиеся у пентода, еще не представляют собой максимальное число сеток в электронной лампе. Развитие радиоаппаратуры привело к необходимости конструирования ламп с еще большим числом сеток.

Причиной, побудившей создать такие многосеточные лампы, явились супергетеродинные приемники. В таких приемниках производится преобразование частоты принятых сигналов в другую частоту, называемую промежуточной. Для этого в супергетеродинах осуществляется смешивание приходящих колебаний, имеющих частоту сигнала, с колебаниями другой (вспомогательной) частоты, генерируемой в самом приемнике. Это смешивание осуществляется в лампах, к которым подводятся два управляющих напряжения — частоты сигнала и вспомогательной частоты, поэтому у них должны быть две управляющие сетки. В таких лампах приходится применять также и две экранирующие сетки. Одна из них экранирует одну управляющую сетку от другой, располагаясь между ними, а вторая экранирует вторую управляющую сетку от анода, помещаясь между этой сеткой и анодом. Всего, следовательно, в лампе имеется четыре сетки, а общее число электродов равняется шести, почему они и названы *гексодами* («гекса» по-гречески — шесть).

Гексоды применялись в супергетеродинных приемниках для смешивания колебаний разных частот, поэтому их и



называли смесительными лампами или *смесителями*. Для преобразования частоты в супергетеродине требовались две лампы: смеситель и гетеродин, генерировавший вспомогательную частоту. Для последней цепи применялись триоды.

Стремление уменьшить в приемниках общее число ламп привело к мысли объединить функции смесителя и гетеродина в одном баллоне. Такие лампы, получившие название преобразовательных ламп или *преобразователей* были созданы. Оказалось, что достаточно к гексоду прибавить еще одну сетку, чтобы лампа могла выполнять обе функции. В такой лампе получилось уже пять сеток.

Первая от катода сетка является управляющей сеткой генераторной части лампы. Следующая за ней сетка выполняет роль анода генераторной части. Таким образом, катод вместе с первыми двумя сетками составляет триод, применяемый для генерирования вспомогательной частоты. Третья от катода сетка работает как экранирующая. Она отделяет генераторную часть лампы от других электродов. За ней следует управляющая сетка, к которой подводится напряжение сигнала, почему эту четвертую по счету сетку иногда называют сигнальной. Пятая сетка экранирует сигнальную сетку от анода. Всего в лампе семь электродов, вследствие чего она называется *гептодом* («гепта» по-гречески — семь). Так как в гептоде имеются две экранирующие сетки, выполняющие одинаковые функции, то они соединяются внутри лампы и имеют общий вывод.

Бывают гептоды и с другим распределением сеток. У них экранирующая сетка одновременно исполняет роль анода генератора, пятая сетка, находящаяся между анодом и сигнальной сеткой, является защитной, служа для тех же целей, что и в пентодах.

К гептодам первого типа из числа наших ламп отно-

сятся 6А8 и СО-242, а к гептодам второго типа—1А1П, 1А2П, 6А7, 6А1ОС и 6А2П.

У гептодов первого типа, имеющих отдельную сетку, используемую в качестве анода генераторной части лампы, перед анодом нет защитной сетки, и это несколько снижает их качество. Поэтому в такие лампы иногда вводят еще одну сетку (шестую), соединенную с катодом и выполняющую функции защитной сетки. У подобной лампы получается уже восемь электродов, почему они и были названы *октодами* («окто» по-гречески — восемь).

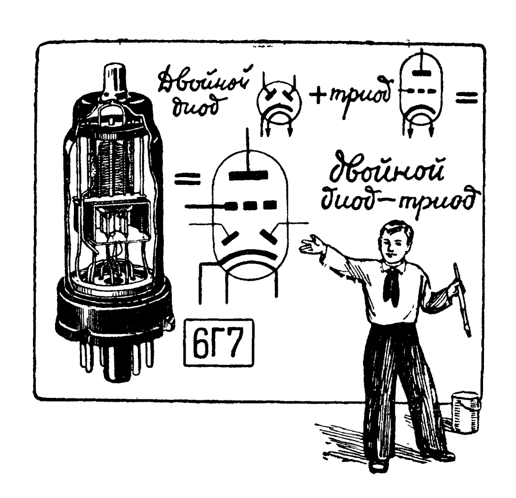
Наилучшими преобразовательными лампами оказались гептоды второго типа, у которых есть защитная сетка, а роль анода генераторной части выполняет экранирующая сетка. Поэтому в приемниках применяются для преобразования частоты гептоды этого типа, а гексоды, гептоды первого типа и октоды встречаются лишь в аппаратуре выпуска прошлых лет.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЛАМПЫ

Электронная лампа является довольно дорогим прибором, имеющим к тому же сравнительно ограниченный срок службы, в среднем составляющий около 1 000 *ч*. Поэтому естественно стремление по возможности уменьшить число ламп в радиоприемниках и вообще в любого рода аппаратуре, в которой применяются электронные лампы.

Добиться такого уменьшения числа ламп можно разными способами. К ним надо причислить, например, улучшение параметров ламп и их усилительных свойств, что позволяет применять одну высококачественную лампу там, где раньше должны были работать две-три лампы менее высокого качества. Другим способом, ведущим к той же цели, является объединение в одном баллоне двух или нескольких ламп, служащих для выполнения одинаковых или различных функций.

С первым примером такого объединения мы столкнулись уже в самом начале нашего рассказа об электронных лампах. Двуханодный кенотрон представляет собой комбинацию в одном баллоне двух диодов, служащих для выпрямления переменного тока. Двуханодный кенотрон — комбинированная лампа, представляющая собой объединение в одном общем баллоне двух ламп с раздельными функциями. То, что в данном случае обе функции однородны, не имеет существенного значения, поскольку обе половины могут быть использованы раздельно.



Примером выполнения различных задач отдельными частями лампы отчасти могут служить гептоды и октоды. Одна часть этих ламп служит для генерирования, а другая — для смешивания частот.

Но если глубже вглядеться в работу двуханодных кенотронов, гептодов и октодов, то можно усмотреть между ними существенную разницу. Эта разница состоит в том, что в двуханодном кенотроне обе части лампы используют разные электронные потоки, тогда как в гептодах и октодах как генераторная, так и смесительная части лампы используют один и тот же общий электронный поток, который как бы последовательно проходит через обе части лампы. Лампы такого рода называют многоэлектродными. В них электронный поток находится под действием нескольких электродов. В отличие от них комбинированными лампами называют такие лампы, в которых для работы отдельных частей лампы используются раздельные электронные потоки, создаваемые одним общим катодом, а иногда делаются даже раздельные катоды, имеющие самостоятельные выводы, но нагреваемые одной общей нитью накала.

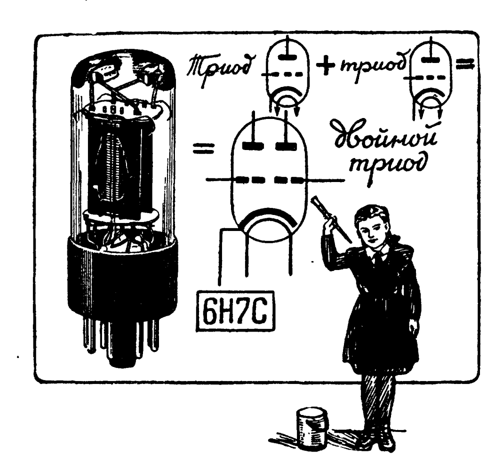
Очень распространенными комбинированными лампами являются *диод-триоды* и *двойные диод-триоды* (сочетание в одном баллоне триода и одного или двух диодов). Диоды такой лампы используются для детектирования и для выполнения различных вспомогательных функций, например автоматической регулировки усиления (АРУ), а триоды — для усиления низкой частоты. Примером лам-

пы такого типа может служить двойной диод-триод типа 6Г2.

В последнее время начат выпуск *тройного диод-триода* (триод и три диода в одном баллоне) типа 6Г3П.

Существуют также *двойные диод-пентоды,* последовательность функций которых в схемах радиоприемников может быть обратной диод-триоду. Пентодная часть такой лампы может быть применена для усиления промежуточной частоты, а диоды детектируют сигналы, усиленные пентодной частью лампы. У нас выпускаются диод-пентоды 1Б1П, 1Б2П и 6Б2П и двойной диод-пентод 6Б8С.

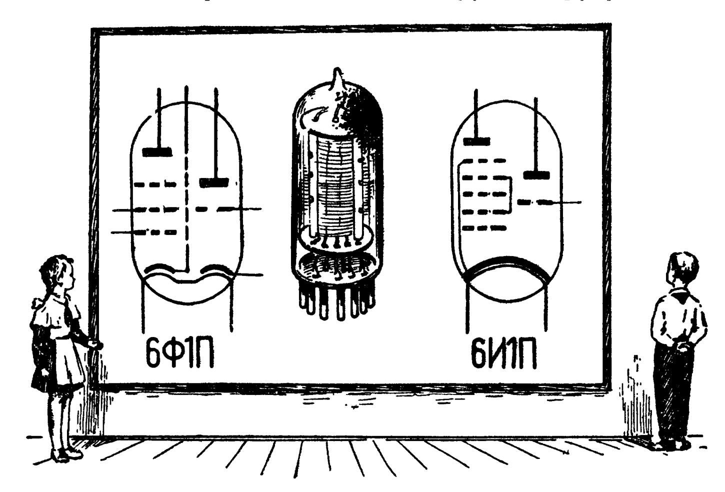
Примером комбинированных ламп с раздельными катодами могут служить некоторые *двойные триоды* — лампы, представляющие собой соединение в одном баллоне двух триодов. Такие триоды часто делаются с одним общим катодом (вернее их катоды электрически соединены между собой), например двойные триоды 6Н7С/6Н15П, 1Н3С. Но в некоторых схемах нельзя применить двойные триоды с общим катодом, так как эти триоды должны иметь по условиям схемы совершенно отдельные цепи. К таким лампам относятся, например, двойные триоды 6Н8С, 6Н2П, 6Н3П, 6Н4П, 6Н5П. Отдельные катоды иногда делают и у двуханодных кенотронов, предназначающихся для работы в выпрямительных схемах, дающих удвоение выпрямленного напряжения. К числу таких кенотронов принадлежит кенотрон 30Ц6С. В настоящее время существуют и значительно более сложные комбинированные лампы, чем описанные выше. Так, отечественной





промышленностью выпускаются лампы, представляющие соединение в одном баллоне двух лучевых тетродов. Такие лампы, известные под названием ГУ-29 и ГУ-32, используются в передающих устройствах для УКВ.

Существуют лампы типа *триод-пентод*, представляющие собой комбинацию в одном баллоне триода и пентода, например 6Ф1П. А в наших радиовещательных приемниках выпусков последних 2—3 лет широко применяется еще более сложная лампа — *триод-гептод* типа 6И1П. Как мы уже видели, гептод сам по себе представляет весьма сложную конструкцию — не так-то просто изготовить лампу с пятью близко расположенными друг к другу сетками.



А в триод-гептоде в один баллон без особого увеличения его размеров к гептоду добавляется еще триод. Но современная электровакуумная техника легко разрешает не только такие, но и еще более сложные вопросы.

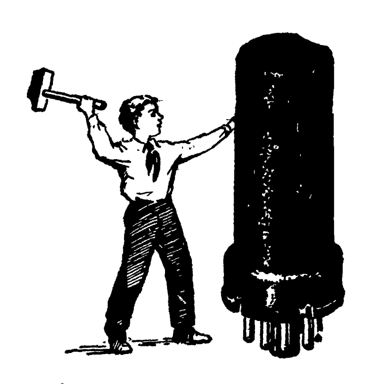
Комбинированные лампы типов триод-пентод и триод-гептод могут быть использованы для различных целей и заменяют каждая по две лампы, позволяя уменьшить габариты радиоаппаратуры и потребление энергии на питание ламп. Чаще всего эти лампы применяются в радиоприемниках в качестве преобразователей частоты. Триод в этом случае работает в качестве гетеродина — создателя вспомогательных высокочастотных колебаний, а пентод или гептод — в качестве смесителя. Благодаря тому, что триод-гетеродин в этих случаях представляет совершенно отдельную от смесителя часть, он работает особо устойчиво; частота создаваемых им колебаний меньше зависит от всяких посторонних влияний, чем в обычном гептоде.

Комбинированные электронные лампы пользуются заслуженным успехом. Применение их расширяется, а число типов возрастает.

КОНСТРУКЦИИ РАДИОЛАМП

Электронные лампы применяются в самой разнообразной аппаратуре: в радиоприемниках, радиопередатчиках, усилителях, измерительных приборах и т. д. Принципы работы ламп во всех случаях остаются одними и теми же, но в зависимости от назначения ламп их конструкция соответственно изменяется. Например, для аппаратуры малой мощности, такой как радиоприемники, лампы стара ются делать возможно меньшего размера. Их часто называют *приемно-усилительными* лампами. Для мощной трансляционной аппаратуры и для радиопередатчиков применяют лампы значительно больших размеров, развивающие в анодной цепи гораздо большую мощность.

За время существования радиоламп их конструкция претерпела серьезные изменения. Первые образцы приемно-усилительных ламп отличались довольно значительными размерами и потребляли очень большой ток накала. По мере совершенствования конструкции и технологии производства размеры лампы уменьшались, лампы становились более прочными, экономичными, их качество улучшалось. Приемно-усилительные лампы наших дней по своей конструкции очень мало похожи на первые радиолампы, хотя основные принципы их работы не изменились.





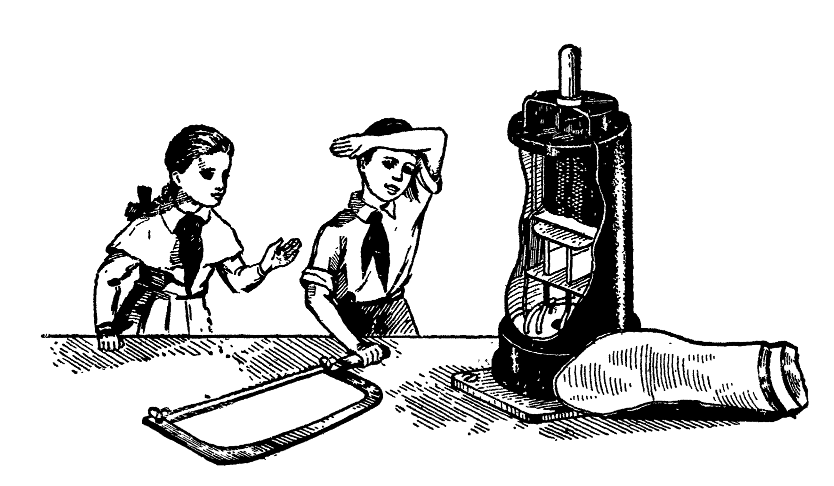
Мы познакомимся вкратце с конструкциями приемно-усилительных электронных ламп, как наиболее известных и распространенных.

Каждая лампа должна иметь *баллон,* внутри которого в безвоздушном пространстве находятся электроды, имеющие выводы наружу для подводки питания и соединения со схемой.

Баллоны ламп обычно делают либо из стекла, либо из стали. Электроды крепятся при помощи металлических стоек к стеклянной ножке в нижней части баллона. Кроме того, вверху они поддерживаются обычно при помощи слюдяных изолирующих шайб, упирающихся своими краями в стенки баллона. Это обеспечивает весьма прочное и жесткое крепление электродов и невозможность их вибрации и смещения относительно друг друга при тряске и ударах. Такая жесткость конструкции является непременным условием хорошего качества лампы, так как от взаимного расположения электродов и от расстояния между ними зависят параметры лампы.

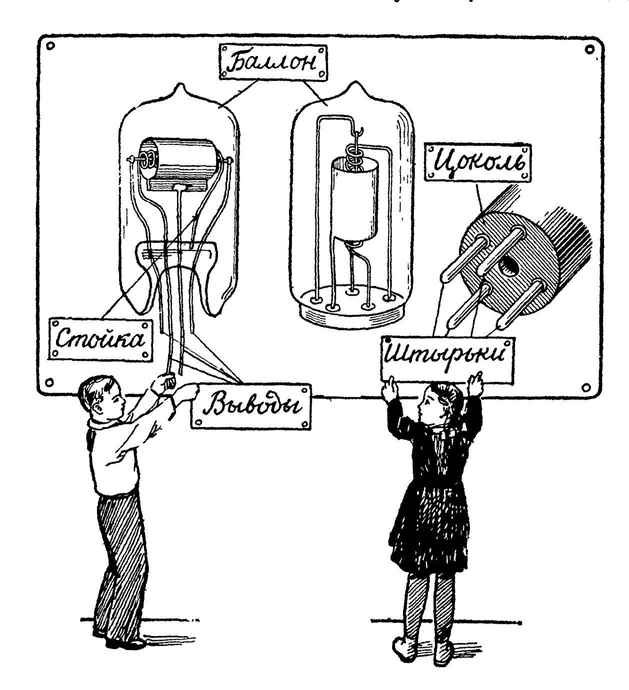
От каждого электрода наружу делается вывод. Обычно для выводов используют металлические стойки, крепящие электроды. Выводы проходят сквозь стекло и завариваются в нем так, чтобы проникновение воздуха внутрь баллона было невозможно.

Для крепления ламп в аппаратуре и соединения ламповых электродов со схемой и источниками питания лампы снабжаются *цоколями* из изоляционных материалов с металлическими ножками — *штырьками.* К каждому из



штырьков присоединяется вывод одного из электродов лампы, а штырьки вставляются в гнезда *ламповой панельки,* к которым подводятся соответствующие провода.

Цоколь должен быть сконструирован так, чтобы лампу нельзя было вставить в панельку неправильно. Для того



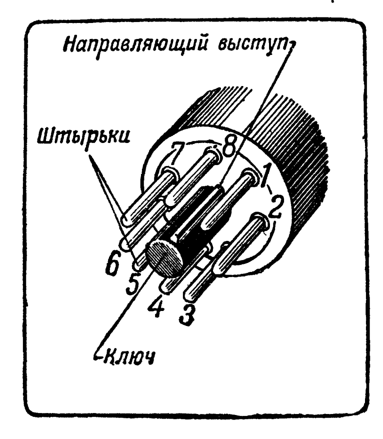
чтобы обеспечить правильность вставления штырьков лампы в панельку, применяют два способа. Первый из них состоит в несимметричном расположении штырьков. Второй способ состоит в устройстве на цоколе специального *направляющего ключа.*

Оба эти способа достаточно гарантируют от неправильного вставления лампы в панельку, но второй из них удобнее. Объясняется это тем, что при несимметричном расположении штырьков лампу очень трудно вставить в панельку не глядя. В то же время при установке ламп в аппаратуру часто бывает трудно рассмотреть ламповую панельку. Направляющие ключи очень облегчают такую работу. Ключ цоколя устанавливается в отверстие панельки, и лампу вращают рукой до тех пор, пока выступ ключа не совпадет с пазом в панельке, после чего штырьки лампы легко входят в свои гнезда.

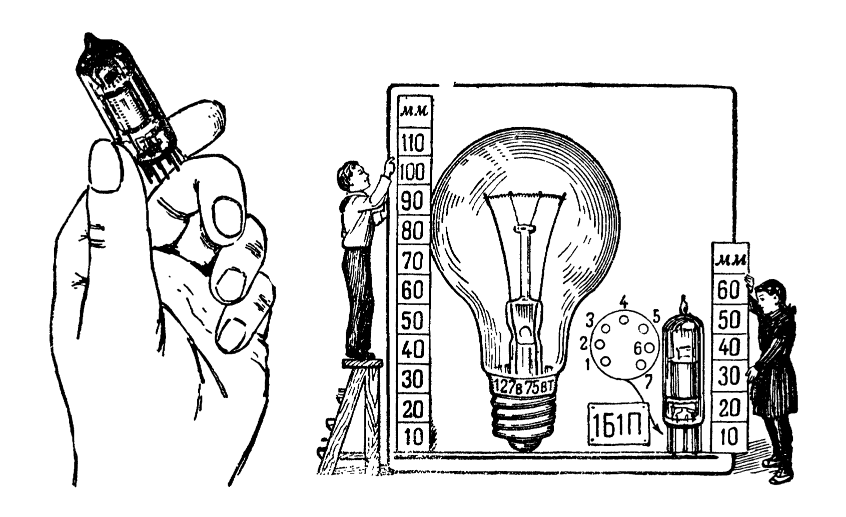
Наибольшее распространение в прошлые годы получили лампы с восьмиштырьковым цоколем. Восемь штырьков этого цоколя расположены на равных расстояниях по окружности, а в центре находится ключ—ножка из пластмассы с выступом с одной стороны.

Электроды ламп одного и того же типа всегда совершенно одинаково соединяются со штырьками на цоколе. Порядок соединения электродов лампы со штырьками называют *цоколевкой.* В описаниях ламп обязательно указывается их цоколевка. По установившемуся обычаю цоколевка на чертежах показывается так, как она выглядит, если смотреть на лампу со стороны цоколя, т. е. снизу.

В последнее время все большее распространение получают очень небольшие по размерам лампы «пальчико-







вого», типа, имеющие такие же, а иногда и значительно лучшие параметры, чем у намного превышающих их по размерам ламп прежних типов.

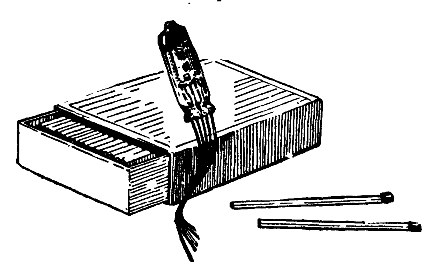
Современные приемно-усилительные лампы выпускаются почти исключительно пальчикового типа. У этих новых ламп совсем нет отдельных цоколей. Внутренняя арматура и выводы от всех электродов укреплены непосредственно на плоском стеклянном дне лампы и выходят наружу в виде тонких, но прочных штырьков.

Малые размеры пальчиковых ламп не позволяют делать на цоколе направляющий ключ. Поэтому у этих ламп применено несимметричное расположение штырьков.

Но и пальчиковые лампы не являются пределом возможного уменьшения величины ламп. Есть сверхминиатюрные лампы, которые в несколько раз меньше пальчиковых. Их диаметр не превышает толщину карандаша. У такой лампы уже нельзя сделать цоколь со штырьками. Ее выводы осуществляются мягкими проводниками, которые просто припаиваются к соответствующим точкам схемы аппаратуры. Применение таких сверхминиатюрных ламп дает возможность строить чрезвычайно компактную и легкую радиоаппаратуру. Лампы в такой аппаратуре по своим размерам и способу монтажа не отличаются существенно, например, от постоянных конденсаторов малой емкости и сопротивлений.

Полную противоположность таким миниатюрным лампам с точки зрения размеров представляют мощные лам-

пы, применяемые на крупных радиотрансляционных узлах и на радиопередающих станциях. Катоды этих ламп должны обеспечивать чрезвычайно большую эмиссию, измеряемую уже не миллиамперами, а многими амперами. На анодах их рассеивается мощность в десятки киловатт. Все это приводит к тому, что размеры ламп доходят чуть ли не до человеческого роста.



Огромное количество выделяющегося на анодах тепла приводит к необходимости вводить искусственное охлаждение ламп, и поэтому во всем мире в мощных радиопередатчиках применяются лампы с медными анодами и с водяным охлаждением, изобретенные в 1923 г. М. А. Бонч-Бруевичем.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Несмотря на обилие применяемых в настоящее время электронных ламп самого различного назначения, никак нельзя сказать, что в этой области уже сделано все возможное. Наоборот, непрерывное совершенствование электровакуумного производства дает возможность добиваться все новых и новых успехов в этой сложнейшей области техники.

Вот некоторые из них.

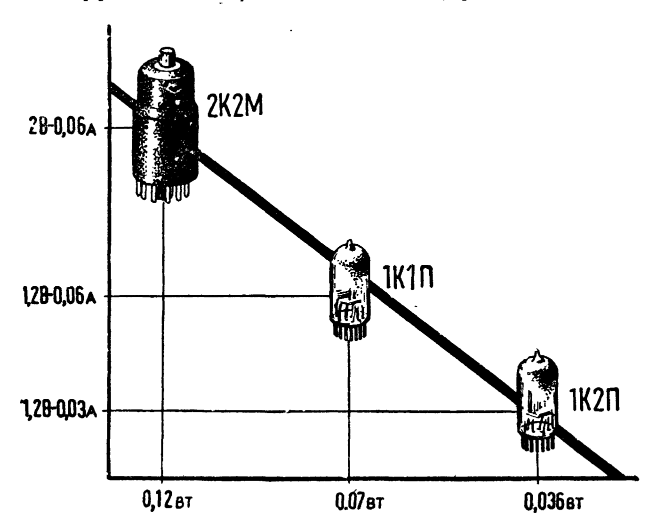
Экономичность. Вопрос об экономичности имеет очень большое значение в первую очередь для переносной аппаратуры с питанием от батарей. Конструкция ламп прямого накала, используемых в такой аппаратуре, подверглась значительному усовершенствованию; особенно это относится к их катодам, на накал которых затрачивается значительная часть потребляемой лампой мощности. Для примера можно сравнить лампы так называемой «малогабаритной» серии («малгабы»), выпускавшиеся не так давно,

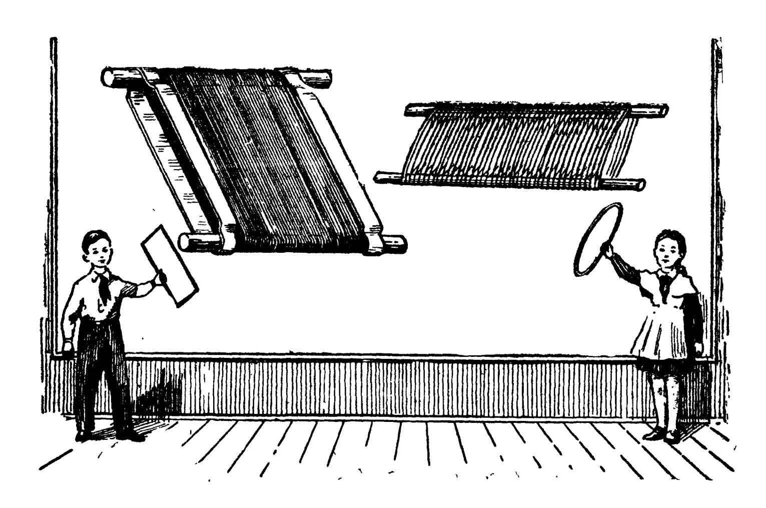
с современными пальчиковыми лампами. Высокочастотный пентод типа 2К2М потреблял на накал ток в 0,06 *а* при напряжении 2 *в*; пальчиковая лампа такого же назначения 1К1П требовала для накала уже почти вдвое меньшего напряжения — всего 1,2 *в*, а современный пальчиковый в. ч. пентод типа 1К2П, обладающий почти такими же параметрами, требует для накала еще и вдвое меньший ток — всего 0,03 *а* при напряжении 1,2 *в*. Мы видим, что по мощности накала достигнуто уменьшение почти в 4 раза. Анодное напряжение, а вместе с тем и мощность, потребляемая от анодной батареи, также значительно снижены.

Усиление. Основным параметром лампы, определяющим величину ее усиления, является крутизна характеристики.

Найдены пути для очень существенного увеличения этого параметра. Уже сейчас выпускаются лампы с такой крутизной характеристики, которая совсем недавно казалась немыслимой.

Если у обычных приемно-усилительных ламп старых типов с нормальным катодом крутизна характеристики имела значение порядка 2 *ма/в*, то у пальчиковых ламп серийного выпуска ее уже удалось повысить при таком же катоде в 2—3 раза и довести до 5—6 *ма/в*, а у отдельных типов, например у 6П14П, — до 11 *ма/в*. Уже выпускаются лампы с крутизной порядка 20 *ма/в* (триоды 6С3П, 6С4П,





высокочастотные пентоды 6Ж9П, 6Ж11П), а выходной тетрод 6Э5П имеет крутизну даже 30 *ма/в*.

Получение таких рекордных значений крутизны оказалось возможным благодаря применению электродов новых конструкций и в первую очередь так называемых рамочных сеток из туго натянутой тончайшей проволоки диаметром всего около 8 *мк* (т. е. в 6—7 раз тоньше человеческого волоса).

Успешно развиваются работы по дальнейшему улучшению параметров усилительных ламп.

Долговечность. Надежная работа радиоэлектронной аппаратуры в очень большой степени зависит от примененных в ней ламп. Но до сих пор для ламп срок службы является их наиболее уязвимым местом. Необходимость накаливать катод до высокой температуры приводит рано или поздно к его перегоранию. Но обычно еще до этого катод начинает терять эмиссионные способности и лампа с целой нитью накала выходит из строя. Обычный срок службы маломощных усилительных ламп, как уже указывалось, составляет около 1 000 *ч*.

Много лет ведутся работы по увеличению срока службы ламп. Интересны некоторые результаты, достигнутые в этом направлении. Уже давно освоены в серийном производстве лампы специальных типов со значительно большим сроком службы — до 10 000 *ч*. Такие лампы необходимы для аппаратуры, работающей непрерывно, круглосуточно, и в первую очередь — для различных необслужи-

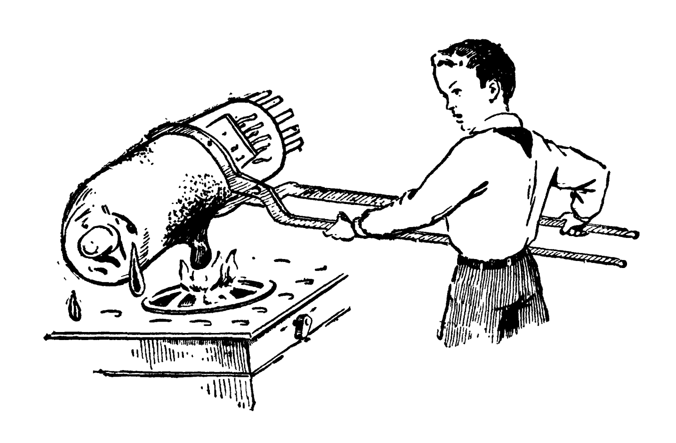
ваемых автоматических устройств, т. е. таких, которые не обслуживаются постоянно техническим персоналом.

Однако есть случаи, когда и такой срок службы лампы оказывается недостаточным. Так, например, для телеграфной и телефонной связи Европы с Америкой, а также и между другими континентами по дну океана проложены специальные кабели. Для повышения надежности связи в кабель на определенном расстоянии друг от друга включаются ламповые усилители, которые затем опускаются вместе с кабелем на дно океана. Подъем кабеля и усилителя на поверхность представляет чрезвычайно сложную задачу и сопряжен с большими затратами. Поэтому необходимо обеспечивать многолетнюю бесперебойную работу усилителя, которая в первую очередь зависит от ламп. И такие лампы созданы. Они имеют срок службы от 100 до 200 тыс. часов, т. е. могут работать непрерывно без выключения 10—20 лет.

Разумеется, изготовление этих долговечных ламп представляет собой сложнейшую техническую задачу. Лампы имеют специальную конструкцию, и применяемые в них материалы отличаются исключительной чистотой. Лампы некоторых типов до установки их в подводный усилитель предварительно тренируются в течение 5 лет. Только после такой тщательной подготовки лампы устанавливаются в аппаратуру.

Разумеется, стоимость этих сверхдолговечных ламп не идет ни в какое сравнение со стоимостью обычных ламп. Но зато фирмы, изготавливающие эти лампы, гарантируют их безотказную работу и в случае выхода ламп из строя раньше гарантированного срока несут все расходы, связанные с подъемом кабеля.

Выносливость в тяжелых условиях. Радиоэлектронная аппаратура проникает в наше время в такие области науки и техники, которые предъявляют к ней совершенно необычные требования. Так, например, для измерения температуры земли на большой глубине (при бурении скважин глубиной в несколько километров) нужны электронные приборы, способные нормально работать при очень высокой окружающей температуре. И лампы для этой цели не только разработаны, но и выпускаются серийно; они надежно работают при температуре порядка 300° С (для сравнения укажем, что обычные лампы пальчикового типа допускают нагрев колбы только до вдвое меньшей температуры — всего до 150° С).



Разработаны лампы, выдерживающие еще более высокую температуру. Конструкция их, правда, необычна. Они представляют дальнейшее развитие металлокерамических ламп, описанных на стр. 102. Эти лампы выполнены из керамических и металлических колец, спаянных между собой и образующих газонепроницаемую оболочку. Металлические кольца, на которые укреплена вся внутренняя арматура лампы, изготовлены из титана. Это позволяет доводить нагрев лампы без всякого вреда для нее до температуры красного каления, т. е. примерно до температуры около 700° С.

Такая температурная устойчивость открывает совершенно новые перспективы — например возможность создания «безнакальной» лампы, которая не требует отдельного



электрического подогрева для катода. Подобные «безнакальные» лампы могут найти применение в тех случаях, когда они устанавливаются в условиях сильного внешнего нагрева. Благодаря отсутствию затрат электроэнергии на накал такие лампы будут очень экономичными в эксплуатации.

ЛАМПЫ ДЛЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Управление электронным потоком во всех до сих пор рассмотренных нами лампах производится посредством изменения напряжения на сетке, которая поэтому и называется управляющей. Основным достоинством электронной лампы является мгновенное реагирование анодного тока на все изменения напряжения на сетке. Это происходит потому, что электроны движутся внутри лампы с огромной скоростью. Даже в обычной усилительной лампе электроны, подлетая к аноду, достигают скоростей в 6—8 тысяч километров в секунду, а все расстояние от катода до анода составляет лишь около 1 *мм*. Поэтому, получив необходимую команду со стороны сетки, они мгновенно выполняют ее, и в результате ток в анодной цепи меняется в то же мгновение — становится больше или меньше в зависимости от знака и величины напряжения на сетке в этот момент.

В течение первых нескольких десятков лет развития радиотехники практически использовались лишь длинные, средние и короткие волны. Даже при наиболее быстрых колебаниях, соответствующих самым коротким из этих волн, период колебания, т. е. время, в течение которого напряжение на сетке проходит через все изменения и возвращается к исходной величине, оказывается во много раз большим, чем время пролета электроном всего своего пути внутри лампы. А это приводит к тому, что форма изменений анодного тока в точности следует за формой изменений напряжения на управляющей сетке лампы, и электронную лампу можно было считать безынерционным, мгновенно реагирующим реле, дающим возможность без всяких затруднений усиливать и генерировать электрические колебания нужных частот.

В последние десятилетия радиотехника стала использовать все более короткие волны. При огромных частотах, соответствующих таким волнам, временем пролета электронов в лампе уже нельзя пренебрегать: оно стало соизмеримым с периодом изменения тока сверхвысоких частот. Так, при волне 1 *м* (частота 300 000 *кгц*) период колеба-

ний становится примерно равным времени пролета электронов от катода до сетки (0,003 *мксек*), а при волне 10 *см* период колебаний уже в 10 раз меньше его.

При таких соотношениях этих величин электрон, вылетевший из катода в тот момент, когда сетка заряжена положительно и оказывает притягивающее действие, еще не долетев до сетки, не только перестает испытывать это притяжение, а, наоборот, подвергается отталкивающему или тормозящему действию сетки, потому что напряжение на сетке успеет уже переменить свой знак.

Это совершенно нарушает нормальные процессы усиления и вдобавок ко всему приводит к появлению различных вредных явлений во внешних цепях, соединенных с лампой.

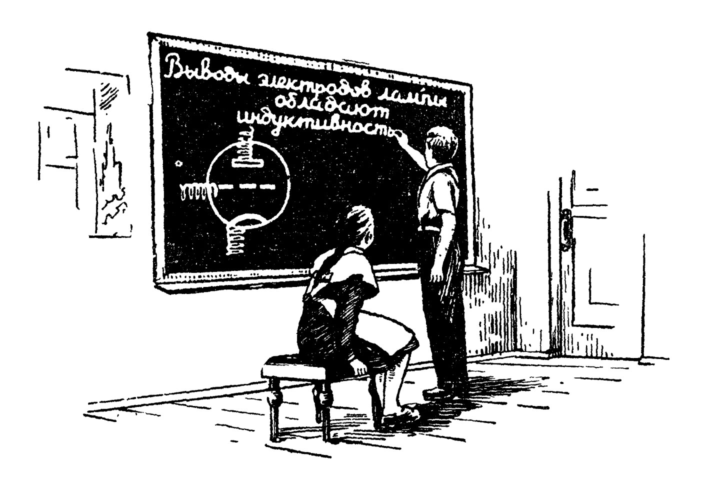
Одним из весьма существенных последствий оказывается то, что не все электроны, вылетевшие по направлению к аноду в начальный момент, т. е. в момент появления колебательного напряжения на сетке, успевают достигнуть анода. А это означает, что колебательный ток в цепи анода оказывается меньше ожидаемого, уменьшается усиление, даваемое усилительными лампами, и мощность, создаваемая генераторными лампами.

Кроме того, электроны, возвращающиеся к катоду, бомбардируют его, а это приводит к его добавочному разогреву и преждевременному разрушению катода.

Все это лишь небольшая часть тех вредных последствий, к которым приводит проявление инерции электронов внутри лампы.

Но это еще не все. Кроме влияния времени пролета электронов внутри лампы, использованию на очень коротких волнах ламп обычной конструкции препятствовала также емкость между их электродами, о которой уже упоминалось на стр. 64.

Эта емкость, как мы знаем, оказывается присоединенной к входным и выходным цепям лампы, работающей в схеме. Если на входе лампы находится колебательный контур, то входная емкость лампы добавляется к емкости контура. А чем короче рабочая волна, тем меньше должна быть емкость контура, так как из законов радиотехники следует, что резонансные свойства контура тем лучше, чем меньше его емкость. Но даже если мы сконструируем наш контур так, что у него вообще не будет никакого конденсатора, то все же емкость такого контура будет никак не меньше входной емкости присоединенной к нему лампы.



А расчет показывает, что даже эта небольшая емкость резко ограничивает возможность усиления сверхвысокочастотных колебаний с помощью лампы.

Кроме того, оказывается даже вообще невозможным создать контур обычного типа для очень высоких частот, так как величина входной емкости лампы ставит предел верхней частоте, на которую может быть настроен контур.

Не следует забывать и того, что с повышением частоты емкостное сопротивление уменьшается, и на СВЧ (сверхвысоких частотах) оно оказывается настолько малым, что токи через междуэлектродные емкости лампы резко возрастают; особенно важно это для генераторных ламп, у которых большие емкостные токи могут привести к нагреву выводов, а следовательно к дополнительным потерям энергии.

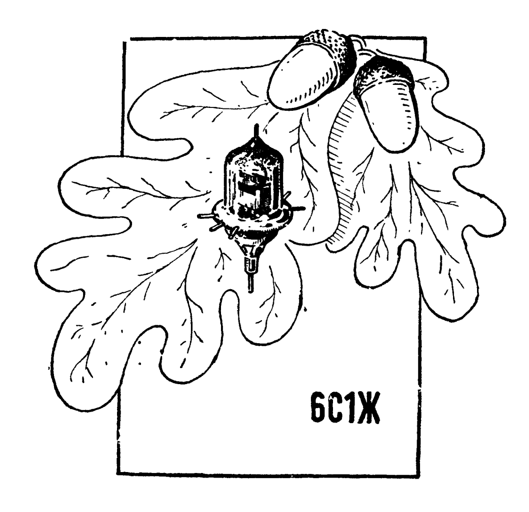
Мы пока говорили только о собственной емкости ламп. Но на высших частотах начинает проявляться еще и влияние индуктивности ламповых выводов. С проводниками ничтожной длины, имеющимися внутри лампы и соединяющими ее электроды со штырьками на цоколе, да и с самими этими штырьками раньше совершенно не считались, полагая, что их сопротивление ничтожно мало́ и им можно пренебречь. Однако любой проводник, даже такой небольшой длины, обладает все же некоторой индуктивностью; индуктивность ламповых выводов действительно ничтожна, и ее влиянием на частотах, соответствующих длинным, средним, коротким и даже метровым волнам ультракоротковолнового диапазона, можно спокойно прене-

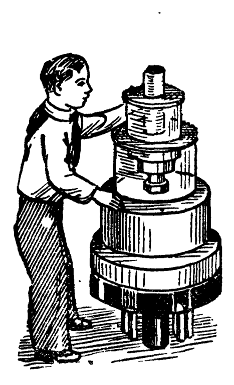
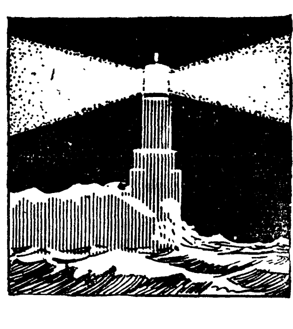
бречь. Однако для более высоких частот индуктивное сопротивление ламповых выводов является уже заметной величиной, с которой нельзя не считаться. Влияние этой индуктивности также приводит к уменьшению усиления.

Мы рассматривали по отдельности характер влияния на работу лампы ее междуэлектродной емкости и индуктивности выводов. К этому добавляется еще и то, что эти индуктивность и емкость образуют вместе своеобразные колебательные контуры, которые оказываются включенными в схему и вносят свою долю вредных влияний, создавая еще одно ограничение для возможности использования ламп на СВЧ.

Меры устранения выявившихся недостатков электронных ламп напрашивались сами собой. Надо по возможности сократить расстояние пролета электронов, тогда и время пролета соответственно уменьшится; конструкцию лампы надо изменить так, чтобы междуэлектродная емкость и индуктивность выводов стали меньше, чем у существующих ламп.

Конструкторы ламп и повели свои разработки именно в этих направлениях. К числу удачных конструкций специально высокочастотных ламп принадлежат так называемые *«лампы-желуди»*. Расстояния между электродами в «желудях» значительно меньше, чем у обычных ламп. Так как цоколи ламп с их данными, параллельно идущими выводами и штырьками способствуют увеличению междуэлектродной емкости и индуктивности выводов, вы-



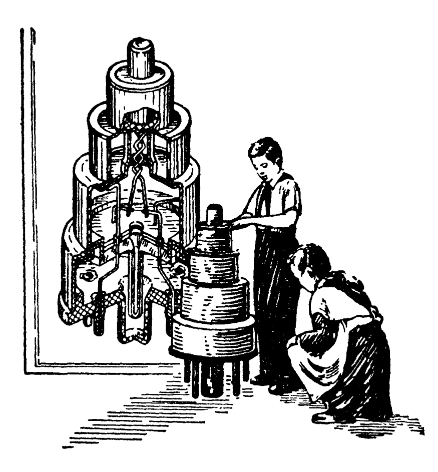
сокочастотные лампы начали делать совсем без цоколей. У желудей выводы электродов расположены по окружности баллона и выполнены из толстой проволоки. В результате всех этих конструктивных мероприятий желуди эффективно работают на волнах примерно до 1 *м* (и даже несколько короче).

Перейти к еще более высоким рабочим частотам — до волн 10—20 *см* — удалось при помощи *«маячковых ламп»*, конструкция которых была предложена в 1939 г. Н. Д. Девятковым. Своеобразное выполнение катода, сетки, анода и выводов позволило уменьшить в этих лампах влияние указанных выше вредных обстоятельств. Например, электроды у этих ламп выполнены не так, как у обычных усилительных ламп. Они имеют плоскую форму. Это позволяет сделать расстояние между ними чрезвычайно малым. Площадь электродов также очень мала, что способствует уменьшению емкости между ними.

Катод маячковых ламп имеет форму цилиндрической чашечки, торцовая часть которой служит источником электронов; сетка представляет собой металлическое полотно тугого плетения, а анодом является торцовая часть цилиндрического стержня, выходящего наружу.

Выводы от электродов сделаны не штырьками, а представляют собой металлические диски, впаянные в стеклянный баллон. Поверхность каждого вывода оказывается при такой конструкции во много раз большей, чем при применении обычных штырьков; это значительно уменьшает их сопротивление и индуктивность.

Дальнейшее совершенствование ламп такого типа заключалось в том, что стеклянные части оболочки лампы



были заменены специальной керамикой. Это стало возможным благодаря тому, что вакуумная техника освоила в последние годы металлокерамические спаи, т. е. газонепроницаемое соединение керамики с металлом.

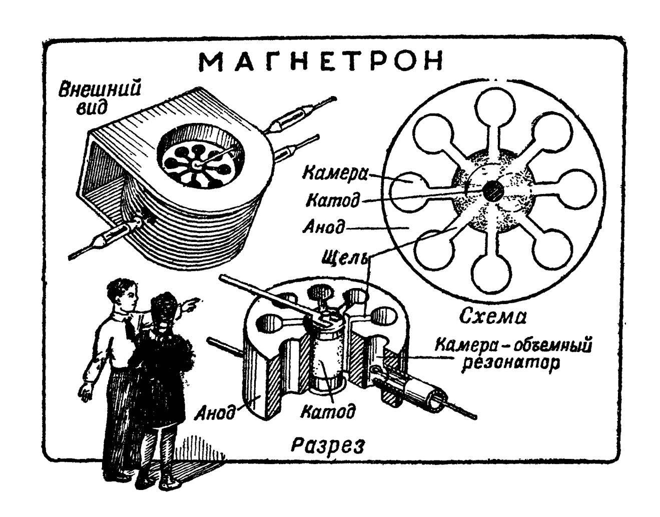
Один из металлокерамических триодов такого рода предназначается для работы на волнах до 10 *см*; он отличается очень небольшими размерами — его диаметр всего 12 *мм*, т. е. меньше копеечной монеты.

Но радиотехника сверхвысоких частот, в частности радиолокация, настойчиво требовала еще большего укорочения волн. Кроме того, желуди и маячковые лампы хотя в какой-то степени и разрешали проблему усиления сигналов на волнах метрового и дециметрового диапазонов, но не обеспечивали получения большой колебательной мощности сверхвысоких частот в передатчиках.

Для решения этой задачи потребовались лампы с принципиально иным способом управления электронным потоком. Первой лампой такого типа явился *магнетрон*. Магнетрон не только лампа, в которой управление потоком электронов производится без сетки, но он, кроме того, представляет собой объединение генераторной лампы с колебательным контуром.

Необходимость такого объединения диктуется тем, что на очень коротких волнах параметры колебательных контуров (индуктивность и емкость) должны быть весьма малы. Между тем при применении отдельных колебательных контуров сами соединительные провода между лампой и контуром имеют величины индуктивности и емкости, сравнимые с теми, какими должен обладать сам контур.

У магнетрона всего два электрода: катод и анод, находящийся под напряжением в несколько тысяч вольт. Сетки у магнетрона нет. Во время работы лампа находится в поле мощного постоянного магнита, силовые линии которого направлены параллельно катоду.



Если бы магнитное поле отсутствовало, то вылетающие из катода электроны, повинуясь действию электрического поля анода, устремлялись бы к аноду и притягивались им. Но мы знаем (см. стр. 33), что магнитное поле искривляет путь движущихся в нем электронов, если только направление движения электронов не совпадает с направлением магнитных силовых линий.

В магнетроне магнитное поле расположено так, что электроны летят в направлении, перпендикулярном его силовым линиям, поэтому действие магнитного поля оказывается наибольшим. Это действие выражается в искривлении пути движения электрона. Подбором соотношения между величинами анодного напряжения и магнитного поля можно добиться того, что электроны будут подлетать почти вплотную к аноду, но не смогут достигнуть его и под действием магнитного поля станут некоторое время двигаться вблизи поверхности анода.

Таким образом, в магнетроне создается поток очень быстро летящих электронов, движущихся вдоль поверхности анода на очень малом расстоянии от него. Энергия этих электронов и используется для создания колебаний высокой частоты.

Колебания эти возникают в специальных камерах, носящих название *объемных резонаторов.* Объемный резонатор — колебательный контур для сверхвысоких частот, представляет собой полый металлический цилиндр. Такие контуры были предложены впервые советским ученым

М. С. Нейманом. Период электрических колебаний, возникающих в таком объемном резонаторе, определяется его внутренними размерами.

Объемные резонаторы размещаются в толще массивного медного анода магнетрона и окружают внутреннее пространство лампы как бы кольцом камер, соединяющихся с ним узкими щелями. Отсюда и произошло название такой лампы — многокамерный магнетрон. Идея устройства многокамерных магнетронов была предложена М. А. Бонч-Бруевичем и практически осуществлена Д. Е. Маляровым и Н. Ф. Алексеевым.

Электроны, движущиеся с огромной скоростью вблизи щелей, за счет своей энергии возбуждают в объемных резонаторах электрические колебания. Потеря электронами энергии выражается в некотором уменьшении их скорости и приводит к некоторому уплотнению кольцевого электронного потока в тех его местах, которые взаимодействовали с резонаторами. Частота колебаний, возникших в резонаторах, определяется их размерами. После возникновения колебаний взаимодействие полей резонаторов с потоком движущихся электронов будет зависеть от фазы колебаний. При надлежащем подборе размеров внутренней полости магнетрона, размещения резонаторов и их щелей, а также анодного напряжения и величины магнитного поля, уплотнения электронного потока будут пролетать мимо щелей резонаторов как раз в те мгновения, когда создаваемые ими импульсы будут поддерживать возникшие в резонаторах колебания. В результате в объемных резонаторах установятся незатухающие колебания большой мощности.

Совершенно очевидно, что магнетрон может генерировать колебания только одной фиксированной частоты, зависящей от геометрических размеров объемных резонаторов. Колебательная мощность, полученная во всех резонаторах магнетрона, выводится из лампы с помощью специального устройства.

В магнетронах удается получить колебания сверхвысоких частот, соответствующих волнам длиной до 1 *см* и даже несколько короче. Магнетронные генераторы находят себе применение, в частности, в радиолокационных станциях.

Другим прибором, в котором электронная лампа соединена со сверхвысокочастотными колебательными контурами, является *клистрон*.

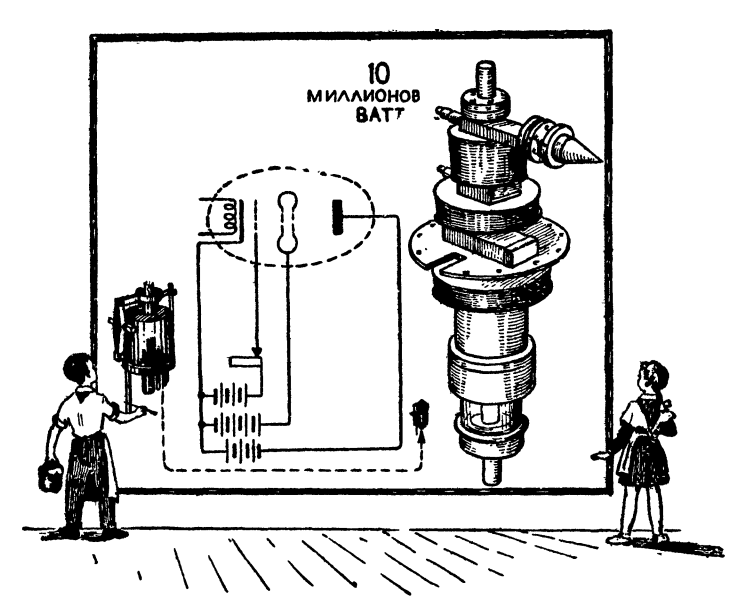
По общим принципам своей работы клистроны в известной степени подобны магнетронам. В клистронах объемные резонаторы тоже составляют одно целое с лампой, а колебания в них поддерживаются потоком электронов неодинаковой плотности. Однако поток этот не кольцевой, как в магнетронах, а прямолинейный.

Электронный поток в клистронах создается катодом направленного излучения (см. стр. 34). Далее движение электронов ускоряется положительным напряжением специального ускоряющего электрода, пролетев через отверстие которого электронный поток имеет вид тонкого сплошного пучка. На своем пути поток электронов встречает полый металлический резонатор и пролетает через его входное и выходное отверстия.

Под воздействием первых же электронов, пролетающих через объемный резонатор, в нем возникают электрические колебания с частотой, определяемой его геометрическими размерами. Эти колебания, взаимодействуя с пролетающим через объемный резонатор пучком электронов, сообщат некоторой части составляющих его электронов добавочное ускорение, другую же часть несколько затормозят. Поэтому после выхода из резонатора электронный поток перестает быть однородным. Он представляет собой ряд чередующихся уплотнений и разрежений, частота которых будет одинакова с частотой колебаний резонатора.

Далее на своем пути электроны встречают второй резонатор и, пролетая через него, вызывают в нем появление колебаний. Так как частота второго резонатора одинакова с частотой первого, то чередование уплотнений и разрежений электронного потока совпадает с собственной частотой резонатора и будет поддерживать начавшиеся колебания. Часть колебательной энергии из этого второго резонатора будет переходить в первый и поддерживать в нем колебания, которые обеспечат создание в электронном потоке сгустков и разрежений соответствующей частоты.

Более простую конструкцию клистрона предложил В. Ф. Коваленко. В его клистроне только один объемный резонатор. Электронный поток, пролетевший сквозь этот резонатор и разделенный им на зоны уплотнений и разрежений, встречает на своем пути электрод, заряженный отрицательно, и, отразившись от него, направляется обратно через резонатор. При правильном подборе напряжений чередование уплотнений и разрежений электронного пото-



ка совпадет с собственной частотой резонатора и будет поддерживать в нем незатухающие колебания.

Поскольку в основе работы таких клистронов лежит отражение электронного потока, они получили название *отражательных клистронов.*

Клистроны, как и магнетроны, могут генерировать колебания только одной частоты, обусловленной размерами их объемных резонаторов. Но у клистронов имеется возможность в небольших пределах подстраивать частоту с помощью внешних средств.

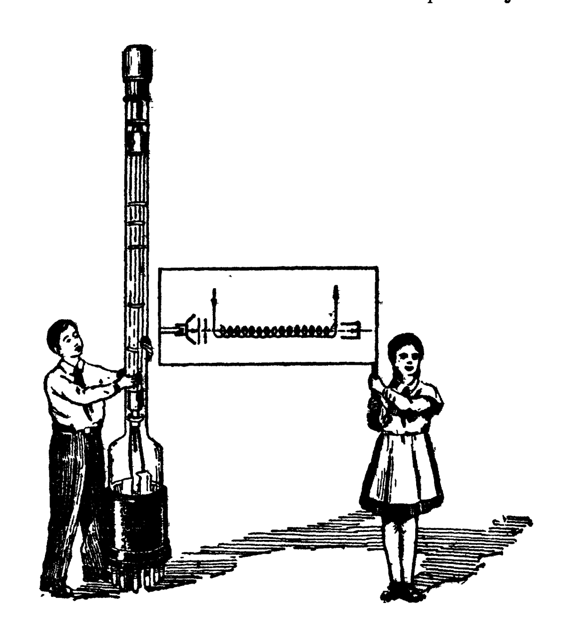
Клистроны применялись до последнего времени главным образом в качестве гетеродинов в приемниках супергетеродинного типа и в измерительной аппаратуре, позволяя получать волны длиной до 1 *см* и даже короче. Однако в последние годы разработаны конструкции мощных клистронов, пригодных для работы в телевизионных передатчиках. Для сравнения на рисунке показаны рядом обычный клистрон, применяемый в качестве гетеродина, и сверхмощный клистрон на 10 *Мвт* (миллионов ватт).

Третьим типом ламп для сверхвысоких частот являются *лампы с бегущей волной,* называемые сокращенно ЛБВ.

В этих лампах используется взаимодействие между электромагнитным полем, распространяющимся вдоль

провода, и электронным пучком. Электромагнитное поле, распространяется, как известно, со скоростью света, т. е. ~300 000 *км/сек.* Так как электронам в лампе даже при анодных напряжениях в несколько тысяч вольт невозможно сообщить скорость больше ~$^{1}/_{10}$ скорости света, то в лампах бегущей волны применен способ, искусственно замедляющий распространение электромагнитной волны. Для этого провод, вдоль которого движется волна, наматывают в виде спирали. Электромагнитное поле обегает витки этой спирали со скоростью света, но по оси спирали оно перемещается во столько раз медленнее, во сколько раз длина провода витка больше шага спирали. Электронный поток направляется по оси спирали.

В таких условиях скорость электронного потока можно сделать равной скорости распространения электромагнитной волны в направлении оси спирали. Это поле, создаваемое, например, принятым сигналом, воздействует в начальной части спирали на равномерный электронный пучок и вызывает в нем некоторую перегруппировку электронов. При дальнейшем продвижении электронный пучок сам начинает оказывать обратное воздействие на электромагнитное поле, передавая ему часть своей энергии и усиливая его. Усиленное поле в свою очередь увеличивает



перегруппировку электронов в пучке и т. д. По мере продвижения поля вдоль спирали оно непрерывно усиливается, и если спираль имеет достаточную длину, то на выходе ее возникает напряжение, значительно превышающее напряжение на входе.

Так, например, одна из первых конструкций таких ламп имела спираль длиной 60 *см* и диаметром 5 *см* из 420 витков тонкого провода; при ускоряющем напряжении 2 000 *в* лампа давала на волне около 9 *см* усиление по мощности в 14 раз. Такого усиления на этих частотах другие виды ламп до того времени не давали.

В дальнейшем лампы этого типа были значительно усовершенствованы: размеры их удалось уменьшить, а усилительные способности еще более повысить. Например, имеются ЛБВ для колебаний с частотой до 50 000 *Мгц* (т. е. для волн длиной 0,6 *см*). Лампы эти выпускаются на различные мощности от нескольких милливатт до десятков ватт и дают усиление по мощности в сотни и тысячи раз.

Лампы с бегущей волной могут быть использованы как для усиления, так и для генерации колебаний сверхвысокой частоты. Такие лампы работают не на одной фиксированной волне, а в очень широком диапазоне частот, чем выгодно отличаются от магнетронов и клистронов.

Дальнейшее развитие того же принципа взаимодействия между потоком электронов и электромагнитным полем привело к созданию ламп, названных *лампами обратной волны* — ЛОВ, которые имеют много общего с ЛБВ, но отличаются тем, что в них направление электронного потока не совпадает с направлением движения электромагнитной энергии, и наоборот — электронный поток направлен навстречу движению электромагнитных колебаний. Такие лампы (называемые иногда *карсинотронами*) оказались очень удобными уже не в качестве усилителей, а в качестве источников возбуждения сверхвысокочастотных колебаний; с их помощью можно генерировать колебания с частотой до 100 000 *Мгц* и выше, что соответствует волнам, длина которых измеряется миллиметрами.

Большим достоинством ламп обратной волны является то, что частоту генерируемых ими колебаний можно сравнительно простыми средствами регулировать в довольно широких пределах. Лампы обратной волны особенно ценны теперь, когда радиоэлектроника осваивает все более короткие волны.

СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Всем электронным лампам, выпускаемым промышленностью, присваиваются наименования, позволяющие отличать лампы одного типа от ламп другого типа. В прежние годы, когда количество разновидностей ламп было невелико, эти наименования носили случайный бессистемный характер и их нужно было запоминать наизусть.

С течением времени количество ламп разных типов увеличилось во много раз и такая система наименований стала непригодной. Понадобилось видоизменить ее так, чтобы условное наименование, присваиваемое лампам того или иного типа, содержало хотя бы его самую общую характеристику, позволяло бы классифицировать лампы по самым основным признакам. В то же время это условное название должно быть кратким и легко запоминаемым.

В результате выработана действующая у нас сейчас система условных обозначений. По этой системе наименование каждой лампы составляется из нескольких букв и цифр, которые позволяют определить число электродов у лампы (т. е. является ли она диодом, триодом, пентодом и т. д.), определить конструктивное оформление лампы (металлический или стеклянный баллон, устройство выводов и т. п.) и, наконец, напряжение накала катода (по напряжению в большинстве случаев можно определить род катода — прямого или косвенного накала, т. е. предназначен он для питания от батарей или от сети переменного тока).

Кроме того, учитывая, что существуют различные варианты триодов, пентодов и других ламп в одинаковом оформлении и с одинаковым напряжением накала, необходимо иметь возможность различать их.

Мы опишем систему составления условных обозначений для наиболее массовых — приемно-усилительных ламп.

Выше мы уже встречались неоднократно с маркировкой ламп. Обозначение каждого типа, как можно было заметить, состоит из четырех элементов: первый элемент — цифра, второй — буква, третий — цифра и четвертый — снова буква.

Первый элемент — цифра указывает округленно напряжение накала. Например, для ламп с напряжением накала 1,2 *в* первая цифра будет 1; для ламп с напряжением накала 6,3 *в* — эта цифра будет 6 и т. д.

Второй элемент — буква, указывающая число электродов у лампы. Приняты следующие условные обозначения:

для детекторных диодов	буква Д
для двойных диодов (детекторных)	буква Х
для кенотронов	буква Ц
для триодов	буква С
для тетродов	буква Э
для высокочастотных пентодов одна из двух букв:	
для пентодов с характеристикой обычного вида	буква Ж
для пентодов с характеристикой особого вида — удлиненной	буква К
для низкочастотных пентодов и лучевых тетродов	буква П
для гептодов	буква А
для индикаторов настройки	буква Е
для комбинированных ламп:	
для триодов с одним или двумя диодами	буква Г
для пентодов с одним или двумя диодами	буква Б
для двойных триодов	буква Н
для триод-пентодов	буква Ф
для триод-гексодов	буква И

Третий элемент — цифра, которая служит для того, чтобы различать разные типы ламп с одинаковым количеством электродов; это просто порядковый номер, присваиваемый лампе при ее выпуске из производства.

И, наконец, *четвертый элемент* — буква, характеризующая конструктивное оформление лампы. Здесь принята такая система:

для ламп в металлическом баллоне никакого буквенного обозначения вообще не применяется, т. е. в этом случае четвертого элемента нет и условное наименование состоит всего из трех элементов первых (например, 6К3 — высокочастотный пентод с удлиненной характеристикой, с напряжением накала 6,3 *в*, в металлическом баллоне);

лампы в стеклянном баллоне и с обычным восьмиштырьковым цоколем обозначаются буквой С (например, 5Ц4С — кенотрон, с напряжением накала 5 *в*, в стеклянном баллоне);

лампы в пальчиковом оформлении, т. е. цельностеклянные, со штырьками, выходящими непосредственно из стеклянного дна, обозначаются буквой П (например 6П1П — лучевой тетрод с напряжением накала 6,3 *в*, пальчиковый);

для ламп типа желудь четвертым элементом служит буква Ж (например, 6Ж1Ж — высокочастотный пентод с обычной характеристикой, с напряжением накала 6,3 *в*, типа желудь);

лампы маячкового типа (с дисковыми выводами) обозначаются буквой Д (например, 6С5Д — триод с напряжением накала 6,3 *в*);

лампы в сверхминиатюрном оформлении, с гибкими выводами, обозначаются буквой Б при диаметре баллона 10 *мм*, и буквой А — при диаметре баллона 6 *мм* (например 6С3Б — триод с напряжением накала 6,3 *в*).

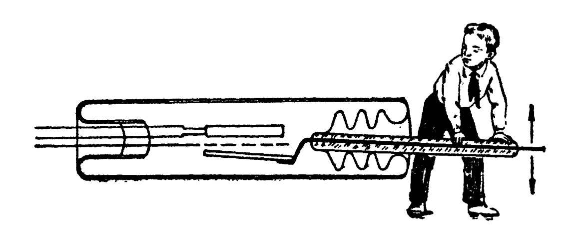
ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Все рассмотренные выше разновидности электронных ламп отличались тем, что в них управление электронным потоком осуществляется с помощью электрического поля, т. е. посредством изменения напряжения на управляющих электродах.

Для более полного обзора электронных приборов следует упомянуть о попытках создания электронных ламп, у которых управление электронным потоком производится не электрическим, а механическим путем. Конструирование таких ламп основывалось на следующих соображениях: если в лампе имеется катод и анод, к которому приложено некоторое постоянное напряжение, то величину электронного потока, т. е. тока, текущего через лампу, можно изменять путем изменения расстояния между электродами, например — путем приближения или удаления анода. Уменьшение расстояния между электродами вызывает увеличение тока через лампу, а увеличение расстояния — уменьшение тока.

Чтобы управлять током таким способом, необходимо чтобы анод был подвижным. Это может быть осуществлено, например, с помощью так называемых сильфонов — гибких гофрированных трубок, которые допускают изгибы без нарушения герметизации.

При соответствующей конструкции лампы можно добиться того, что незначительные перемещения анода будут вызывать существенное изменение анодного тока. Это



позволяет использовать такую лампу в качестве датчика, т. е. устройства, которое воспринимает механические усилия и взамен дает изменения электрического тока.

Удается создавать такие лампы с чувствительностью порядка 100 *ма* на 1 *мм* смещения анода. Если использовать чувствительный электроизмерительный прибор — микроамперметр и применить специальные высокочувствительные схемы, то можно регистрировать изменения тока величиной в микроамперы, что соответствует перемещению анода на расстояние, измеряемое микронами и даже долями микрона.

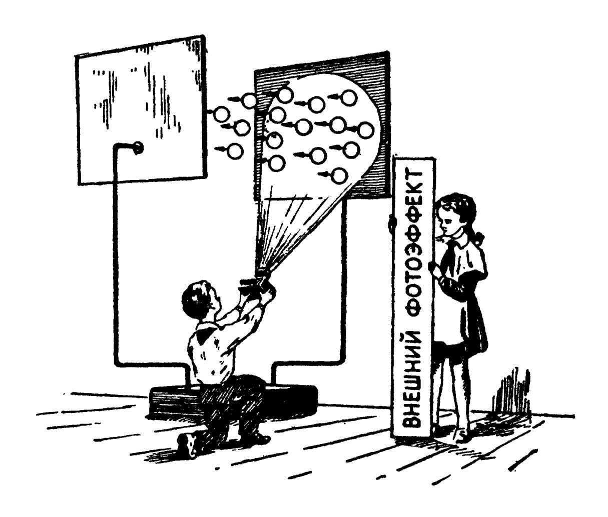
Таким способом можно осуществить очень чувствительный электронный микрометр.

Но лампы с механическим управлением можно использовать не только для измерения геометрических размеров. Они могут быть применены в приборах для исследования механических вибраций, в качестве регулирующих элементов в некоторых видах автоматической аппаратуры, в физиологической и медицинской аппаратуре и т. п.

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Рассмотренные до сих пор электронные приборы предназначаются в основном для усиления переменных токов, для их генерирования, выпрямления, для смешивания электрических колебаний различных частот, для детектирования и некоторых других целей. Их общей особенностью является то, что нужный для работы этих приборов электронный поток получается путем нагрева катода. Появление в таких электронных приборах электронов другого происхождения, например в результате выбивания вторичных электронов из ламповых электродов, или же заряженных частиц иного рода, например ионов в результате ионизации остатков газа, нарушает нормальную работу прибора. С такими явлениями ведется настойчивая борьба.

Но не во всех электронных приборах нужный для их работы электронный поток получается посредством нагрева. Существует ряд таких приборов, в которых необходимые для их функционирования электроны получаются не в результате нагрева и которые в большинстве случаев используются для иных целей. К числу таких приборов принадлежат фотоэлементы.



Слово фотоэлемент является общим названием многочисленной группы электронных приборов, так или иначе реагирующих на свет.

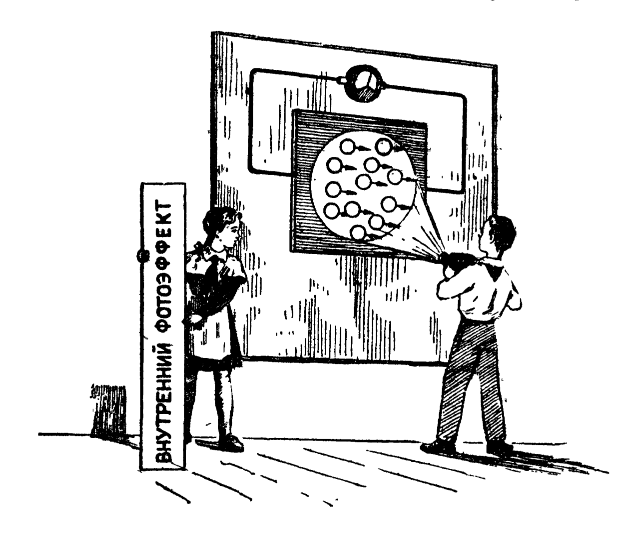
У некоторых из этих фотоэлементов свет используется для той же цели, что нагрев у рассмотренных до этого приборов, т. е. для получения рабочего потока электронов. У таких приборов есть фотокатоды, которые при их освещении начинают испускать электроны, причем количество излучаемых электронов пропорционально интенсивности освещения. Подобные фотоэлементы получили название фотоэлементов с *внешним фотоэффектом* (электроны вылетают из катода во *внешнее* пространство). Фотоэлементы этого типа находят теперь широчайшее применение. Например, они используются в звуковом кино, где превращают оптическую запись — фонограмму в электрические колебания соответствующей звуковой частоты.

В фотоэлементах другого типа под воздействием освещения не происходит вылета электронов во внешнее пространство. Их освещение приводит лишь к тому, что некоторая часть электронов, ранее связанных с атомами вещества, вырывается из этих связей и получает возможность свободного передвижения внутри вещества, т. е. получает возможность образовывать электрический ток. Поэтому у таких фотоэлементов под воздействием освещения изменяется электропроводность (изменяется сопротивление электрическому току). Фотоэлементы такого типа получили название фотоэлементов с *внутренним фотоэффектом*,

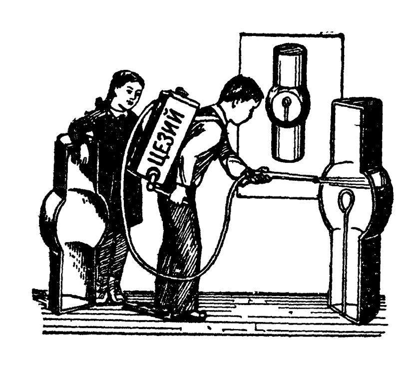
так как «освобожденные» в результате освещения электроны остаются внутри тела. Их называют также фотосопротивлениями. Такие фотоэлементы тоже находят самое широкое применение в технике, в частности они используются в некоторых телевизионных передающих трубках (видиконах).

Существует группа фотоэлементов с внутренним фотоэффектом, которые в силу некоторых своих особенностей (существования так называемого запирающего слоя) при их освещения становятся источниками электроэнергии. Фотоэлементы этого типа обычно называют вентильными. Такие фотоэлементы (селеновые) работают в общеизвестных фотоэкспонометрах, при помощи которых определяют экспозицию при фотосъемке. Кремниевые фотоэлементы такого же типа известны под названием солнечных батарей. Они применены для питания радио- и электроаппаратуры на третьем советском искусственном спутнике и на космических ракетах-лунниках и начинают использоваться для питания переносных радиоприемников.

Следует отметить, что термин «освещение», которым мы пользовались в этой главе, применялся в известной степени условно. Его не нужно понимать как освещение только видимыми световыми лучами. Фотоэлементы реагируют на воздействие и инфракрасными, и ультрафиолетовыми лучами. Пользуясь для изготовления фотоэлементов теми или иными веществами, можно получать различные



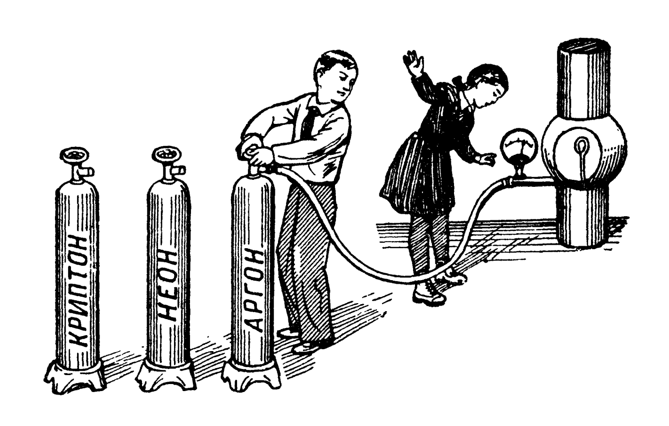
их спектральные характеристики, т. е. добиваться, чтобы они в той или иной степени реагировали на облучение электромагнитными колебаниями различной частоты. Можно, например, сделать фотоэлементы, которые работают в полной темноте, реагируя на инфракрасные или ультрафиолетовые излучения. Это обстоятельство расширяет круг применения фотоэлементов и значительно увеличивает их возможности.



В этой книге мы рассмотрим лишь фотоэлементы первой группы — с внешним фотоэффектом, поскольку остальные фотоэлементы принадлежат к группе полупроводниковых приборов, не охватываемых содержанием книги.

Работа фотоэлементов с внешним фотоэффектом основана на использовании фотоэлектронной эмиссии, которая была упомянута выше и о которой подробно рассказано на стр. 21. Наиболее распространенным материалом для фотокатодов служит цезий, обычно не в чистом виде, а в соединениях с другими веществами. Чаще других применяются кислородно-цезиевые и сурьмяно-цезиевые катоды.

Основой фотоэлемента служит стеклянный баллон, примерно половина внутренней поверхности которого покрывается светочувствительным слоем и образует фотокатод. Свет или какие-либо невидимые глазом лучи, попадая через прозрачную часть баллона на фотокатод, вырывают из него электроны, количество которых пропорционально интенсивности облучения (при освещении видимыми световыми лучами — пропорционально силе света). Для вывода электронов во внешние цепи служит небольшой анод, обычно кольцеобразной формы, располагающийся в середине баллона. Кольцеобразная форма придается аноду для того, чтобы он не являлся препятствием для лучей, падающих на катод. Между катодом и анодом прикладывается напряжение около 150—250 *в*, в результате действия которого все электроны, вырываемые светом из катода, устремляются к аноду и образуют ток во внешней цепи, соединяющей анод с катодом.



Эмиссия электронов из фотокатодов сравнительно незначительна, поэтому токи, даваемые фотоэлементами, малы. Чтобы несколько увеличить их, в баллоны фотоэлементов иногда вводят некоторое количество какого-нибудь инертного газа, например аргона. Такие фотоэлементы носят название *газонаполненных*. Увеличение анодного тока происходит в газонаполненных фотоэлементах вследствие ионизации газа. Вырванные из катода электроны сталкиваются на своем пути к аноду с частицами газа и выбивают из них электроны — один или несколько. Эти электроны, появившиеся в результате ионизации, включаются в общий электронный поток и устремляются к аноду. В то же время положительные ионы (атомы газа), потерявшие часть своих электронов, притягиваются к отрицательно заряженному катоду, ударяются об его поверхность и выбивают из нее еще некоторое количество электронов, которые тоже устремляются к аноду. Оставшиеся свободными электронные орбиты положительных ионов заполняются при этом электронами, но количество выбитых электронов бывает больше, чем нужно для заполнения пустых орбит у ионов, поэтому электронный поток в таком газонаполненном фотоэлементе при одинаковой интенсивности воздействующего облучения бывает значительно больше, чем в вакуумном. В фотоэлементах, содержащих газ под давлением порядка 10^{-2} *мм*, удается добиться увеличения тока в 5—8 раз по сравнению с вакуумными фотоэлементами.

Газонаполненные фотоэлементы легко отличить от вакуумных по букве Г, имеющейся в их обозначении. Эта буква обозначает «газонаполненный». Так, например, обо-

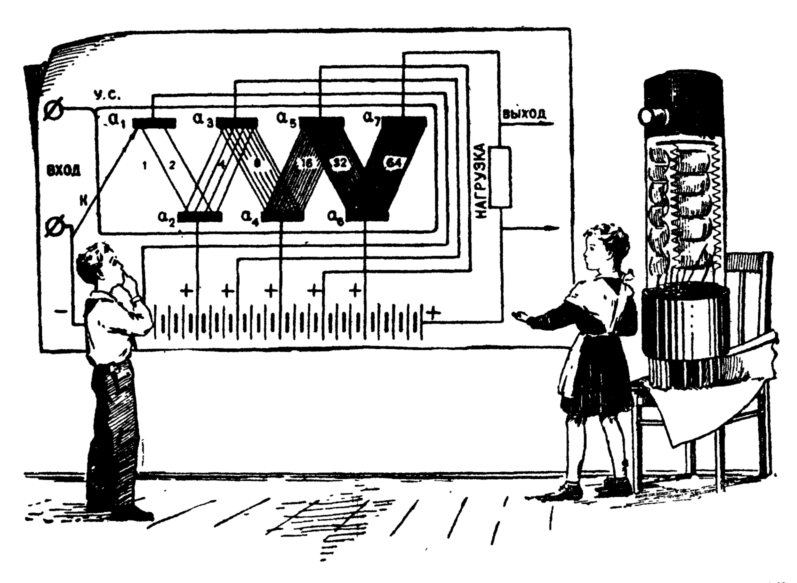
значение ЦГ-3 расшифровывается как фотоэлемент цезиевый, газонаполненный, 3-й тип.

Но и газонаполненные фотоэлементы дают очень небольшие токи, измеряемые микроамперами. Поэтому при их использовании приходится применять ламповые усилители.

В настоящее время известен другой способ значительного увеличения фототоков внутри самих фотоэлементов. Для этой цели используется явление выбивания вторичных электронов (динатронного эффекта), о котором было рассказано на стр. 22. Приборы, работа которых основана на использовании вторичных электронов, называются *электронными умножителями*. Общий принцип устройства таких приборов сводится к следующему.

В стеклянной трубке, из которой выкачан воздух, помещено несколько электродов ($к$, a_1, a_2 и т. д.), на поверхность которых нанесен слой цезия. Между каждой парой электродов приложено напряжение, заряжающее последующий электрод положительно по отношению к предыдущему.

Воспринимаемые фотоэлементом лучи (например, свет) падают на электрод $к$ и вырывают с его поверхности электроны, которые устремляются к электроду a_1, заряженному положительно относительно фотокатода $к$. При ударе



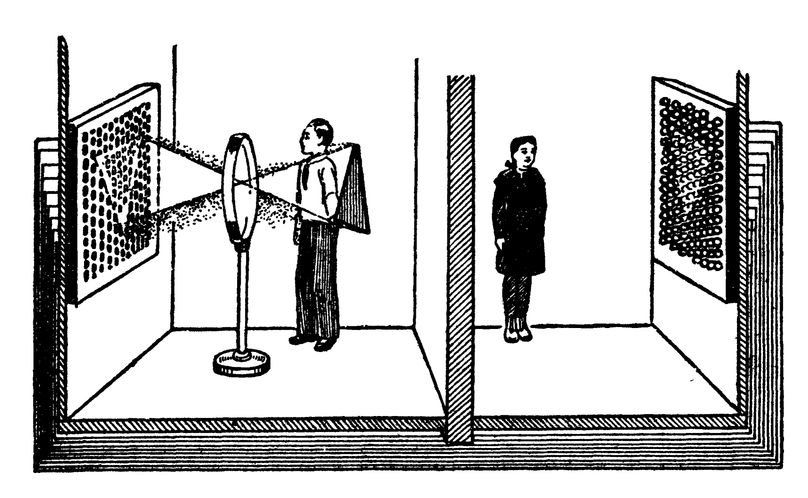
о поверхность электрода a_1 каждый электрон обычно выбивает несколько вторичных электронов.

Вторичные электроны, выбитые из a_1, устремляются к a_2, потенциал которого выше, чем потенциал a_1, и в свою очередь выбивают из него еще большее количество электронов. Процесс этот продолжается от электрода к электроду, и в результате к последнему из них, играющему роль анода всей системы, приходит гораздо больше электронов, нежели их было вырвано светом или иным облучением из фотокатода. Фотоэлектронные умножители подобного рода практически позволяют получать усиление до миллиона раз, заменяя сложные многокаскадные ламповые усилители.

Как уже отмечалось, фотоэлементы всех типов и видов находят в современной науке и технике самое широкое и разнообразное применение. В особенности расширились области применения фотоэлементов в последние годы в связи с массовым применением автоматизированных устройств. Существенной частью таких устройств во многих случаях яляется именно фотоэлемент.

Фотоэлементы позволили осуществить величайшее достижение современный техники — телевидение. Однако в телевидении трудно применить фотоэлементы такого вида, с которыми мы только что познакомились. Любой из тех фотоэлементов, о которых мы говорили, реагирует лишь на общую интенсивность падающего на него светового потока. Катод фотоэлемента представляет собой единое целое. Ток, который дает этот катод, зависит от величины светового потока, падающего на катод. Если, скажем, половину поверхности катода затемнить, но световой поток, падающий на его вторую половину, увеличить вдвое, то ток, даваемый катодом, не изменится. Таким образом, по току катода фотоэлемента нельзя судить о том, как освещены его отдельные участки.

Фотоэлемент регистрирует лишь суммарную освещенность всей поверхности его катода. Если бы мы хотели осуществить при помощи фотоэлементов «видящее» устройство, то от каждой отдельной точки изображения надо было бы получать отдельный ток, который не смешивался бы с токами от других точек. Так устроен и наш глаз. Сетчатая оболочка глаза, на которую хрусталиком проектируется изображение, представляет собой собрание миллионов светочувствительных окончаний зрительного нерва, причем от каждого из этих окончаний в мозговые



центры идет отдельное нервное волокно, отдельный «провод», по которому передается информация о количестве света, воспринятого данным окончанием.

Первоначальные проекты телевизионных устройств представляли собой в сущности повторение устройства глаза. В них применялось по возможности большое количество фотоэлементов, расположенных на плоскости в шахматном порядке. На эту плоскость проектировалось передаваемое изображение. Каждый фотоэлемент воспринимал такое количество света, какое соответствовало спроектированной на него части изображения. От всех фотоэлементов шли отдельные провода к усилителям и далее к лампочкам, размещенным в таком же шахматном порядке, как фотоэлементы. Яркость свечения лампочки зависит от количества света, упавшего на соединенный с нею фотоэлемент.

Разумеется, такую систему осуществить нельзя. Если применить незначительное количество фотоэлементов и лампочек, то изображение будет слишком грубым, нечетким. Применить же такое их количество, какое нужно для достаточной четкости передаваемых изображений (несколько сотен тысяч), практически невыполнимо.

Техника решила эту задачу иначе. Основой современной передающей телевизионной трубки, называемой *иконоскопом,* является мозаичный фотокатод. Он представляет собой слюдяную пластинку, покрытую огромным количеством изолированных друг от друга зерен серебра величиной примерно около 0,01 *мм.* Эти зерна покрываются це-

зием, обладающим большой светочувствительностью. После соответствующей обработки каждое такое зерно становится самостоятельным фотоэлементиком. В результате получается мозаика из миллионов микроскопических фотоэлементов.

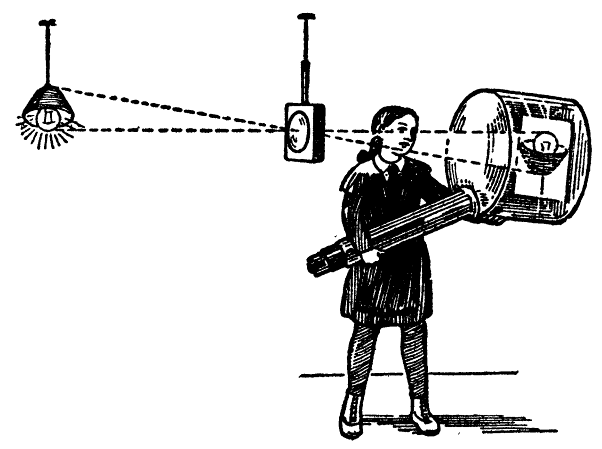
Естественно возникает вопрос — а как же быть с проводами. Устройство фотомозаики решает в лучшем случае только половину задачи. Ведь главная трудность заключается в соединении этих миллионов фотоэлементиков с дальнейшими телевизионными устройствами.

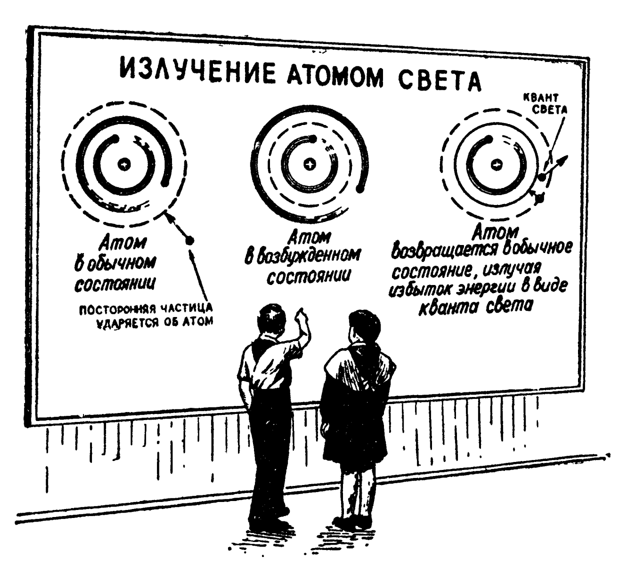
Эта задача была остроумно и просто решена при помощи электронно-лучевых трубок.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ

Наш рассказ об электронной лампе привел нас к электронно-лучевой трубке как к средству, позволившему осуществить телевидение, вернее, как к средству, дающему возможность осуществить передающую часть телевизионного устройства — преобразование света в электрическую энергию. Это можно было бы понять как то, что электронно-лучевая трубка является одним из видов фотоэлемента.

В действительности это не так. Электронно-лучевая трубка представляет собой электронный прибор или электронную лампу универсального типа. Электронно-лучевые трубки бывают весьма разнообразного устройства и применяются для самых различных целей. Например, в телевизионных устройствах электронно-лучевая трубка служит и первым и последним звеньями. В начале телевизионной





системы электронно-лучевая трубка преобразует свет в импульсы электрического тока, а в конце ее вновь преобразует электрические импульсы в свет. Таким образом, электронно-лучевая трубка выполняет в телевизионных системах начальную и конечную функции, противоположные по своей сущности.

Применение электронно-лучевой трубки, указанное в нашем примере, было на самом деле ее первым применением. Это применение — преобразование электрической энергии в световую — основано на механизме излучения света атомами. Если электрон, находящийся на какой-нибудь из внутренних электронных оболочек атома, получит откуда-либо дополнительную энергию, то он приходит в «возбужденное» состояние, которое выражается в том, что этот электрон переместится на одну из имеющихся более удаленных от ядра оболочек. Эта оболочка соответствует электронам с большей энергией.

Однако электрон не может долго находиться в таком неуравновешенном состоянии, не являющемся нормальным для данного атома. Сместившийся электрон возвращается на свою орбиту. При этом он отдает избыток энергии в виде излучения определенной порции света.

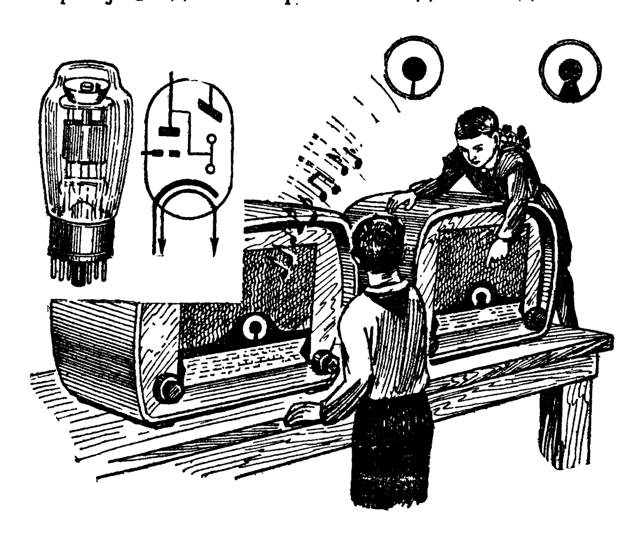
Сообщение электронам внутренних оболочек атома дополнительной энергии, приводящей к излучению атомом света, может происходить при различных обстоятельствах

и, в частности, при столкновении с атомом быстро летящего электрона. Атомы некоторых веществ начинают излучать свет при ударах электронов, имеющих сравнительно не очень большую скорость, причем цвет свечения зависит от рода вещества.

Такое свечение довольно часто наблюдается у выходных усилительных ламп, имеющих стеклянные баллоны. Сквозь эти баллоны бывает видно свечение анода, а иногда и внутренней поверхности баллона. Свечение это синевато-фиолетового цвета, яркость его изменяется в такт с передачей. Его возникновение объясняется случайным попаданием на аноды при изготовлении ламп посторонних веществ (обычно оксидов с катода), которые и светятся при облучении их потоком электронов (анодным током). Так как величина анодного тока изменяется в такт с передачей, то соответственно колеблется и яркость свечения.

Свечение этого рода, возникающее при воздействии электронного потока, используется в общеизвестной электронной лампе — оптическом индикаторе настройки (лампа 6Е5С). Экран этой лампы, имеющий вид конуса, покрыт минералом виллемитом, который светится ярким зеленым светом при облучении его электронами.

Экран такой лампы находится под полным напряжением источника анодного тока. На пути электронного потока к экрану с одной стороны катода находится плоский



управляющий электрод — нож, напряжение которого одинаково с напряжением на аноде лампы. Свечение сектора экрана, находящегося за управляющим электродом, зависит от соотношения напряжений на экране и на этом электроде. Если эти напряжения одинаковы, то сектор, находящийся за управляющим электродом, светится так же, как и весь остальной экран. Если напряжение на управляющем электроде уменьшается, то на находящейся за ним части экрана получается затемненный сектор, потому что количество попадающих туда электронов уменьшается. Ширина затемненного сектора зависит от величины напряжения на управляющем электроде.

Так как управляющий электрод соединен с анодом, а напряжение на аноде зависит от силы принимаемых сигналов, то по ширине затемненного сектора можно судить о точности настройки приемника. Если приемник не настроен на радиостанцию, то темный сектор оптического индикатора наиболее широк. Когда настройка приемника совпадает с частотой работающей радиостанции, то темный сектор начинает сужаться. При точной настройке он максимально узок.

Оптические индикаторы служат примером наиболее простого использования преобразования энергии летящих электронов в световую энергию. Значительно сложнее использование этого преобразования в электронно-лучевых трубках. В такой же степени более сложно по сравнению с обычными фотоэлементами и обратное преобразование, осуществляемое в электронно-лучевых трубках, — преобразование света в электрическую энергию.

В оптическом индикаторе настройки не производится, в сущности, никакого формирования электронного потока. В нем осуществляется лишь регулирование допуска части этого потока к определенному участку экрана. В электронно-лучевых трубках, как правило, применяется гораздо более сложное формирование электронного потока и управление им.

Основной действующей частью электронно-лучевой трубки современного типа является электронный луч — поток электронов с сечением достаточно малого диаметра, в некоторых случаях всего в доли миллиметра. Сам катод не может излучать столь тонкий луч, поэтому его приходится искусственно формировать.

Электронный луч обладает определенной электрической энергией, зависящей от количества электронов

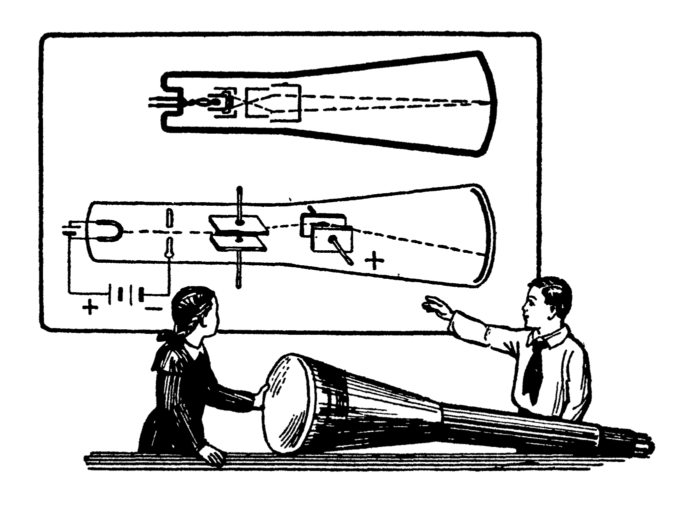
в луче и их скорости. Электрическая энергия луча преобразуется в другой вид энергии или вообще используется в том или ином виде на электроде, носящем название экрана. Экран представляет собой чаще всего круглую или прямоугольную пластину, помещаемую на пути луча. Электронный луч ударяется об эту пластину-экран и отдает ему свою энергию.

Испускаемый катодом поток электронов, сформированный в более или менее тонкий луч, будет попадать все время в одну точку экрана (при обычном устройстве трубки и правильной ее сборке в центр экрана). В таком виде трубки большинства типов не могут быть применены. Для их использования надо, чтобы электронный луч мог быть направлен в любую точку поверхности экрана. Поэтому трубка должна быть снабжена какими-то органами для изменения направления луча. Органы, формирующие луч, обычно называют фокусирующими, а изменяющие его направление — отклоняющими.

Следовательно, электронно-лучевая трубка должна иметь следующие обязательные части: катод, являющийся источником электронов, устройство для фокусирования электронного луча, устройство для отклонения электронного луча, экран.

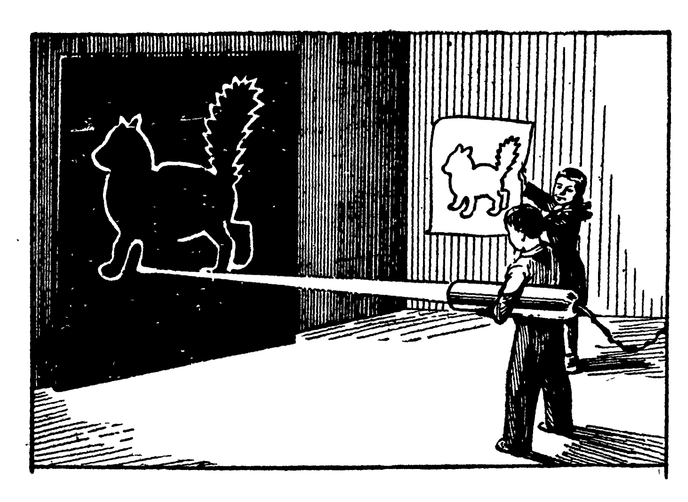
Источником электронов является торцовая часть подогревного катода, выполняемая в виде лунки. Такой лункообразный катод сам по себе излучает электроны сравнительно узким пучком. По выходе из катода пучок электронов пролетает через узкое отверстие управляющего электрода, заряженного отрицательно, и сжимается еще больше. Далее пучок электронов встречает на своем пути фокусирующие устройства и фокусируется в тонкий луч, диаметр которого во многих случаях не превышает долей миллиметра.

Для перемещения луча в любую точку экрана применяются электроды, позволяющие отклонять луч как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. С этой целью могут быть применены электростатические или электромагнитные отклоняющие системы. В зависимости от рода фокусирующих и отклоняющих систем различаются электронно-лучевые трубки с электростатической фокусировкой и отклонением, с электромагнитной фокусировкой и отклонением или же смешанным управлением (фокусировка электростатическая, а отклонение электромагнитное).



Электроды электростатической системы фокусировки и отклонения электронного луча помещены внутри колбы трубки. Катушки магнитной фокусировки и отклоняющие катушки электромагнитной системы отклонения помещаются снаружи трубки, на ее удлиненной горловине.

Экран располагается в расширяющейся части трубки. У трубок, служащих для преобразования электрической энергии в свет, экраном является само дно трубки (ее наиболее широкая и плоская часть), которое изнутри покрывается люминофором — составом, обладающим способностью светиться под воздействием электронной бомбардировки. Это свечение наблюдается снаружи через стекло дна баллона. У трубок с другими видами преобразования экран выполняется чаще всего в виде пластины хорошего диэлектрика, покрытого слоем нужного состава. У передающих электронно-лучевых трубок самой первой конструкции на такой экран наносилась фотомозаика (см. стр. 119). Предназначенное для передачи изображение проектируется оптической системой на фотомозаику. Под воздействием света микроскопические фотоэлементики фотомозаики излучают электроны в тем большем количестве, чем сильнее освещен данный элемент. В результате потери части электронов электрический потенциал различных участков мозаики будет неодинаков. Передаваемое изображение окажется запечатленным на мозаике своеобразным «электрическим» способом. Если в обычном черно-белом изображении различные его части отличаются друг от друга разными градациями черно-белых тонов, то



в «электрическом» изображении они различаются соответствующей разностью электрического потенциала.

Эти разные потенциалы для передачи изображения надо «снять» с пластины и передать их в место приема. При передаче по той примитивной системе телевидения, о которой рассказывалось на стр. 119, от каждого отдельного микроскопического фотоэлемента пришлось бы тянуть провод. В современных телевизионных системах принят другой принцип передачи — отдельные точки изображения передаются по очереди—одна за другой. Вследствие известной инерционности нашего глаза подобный сдвиг по времени в передаче отдельных точек не будет заметен при условии, что все точки будут переданы не более, чем за $^1/_{16}$ *сек.* Фактически передача их производится за $^1/_{25}$ *сек.* Поэтому нам кажется, что мы видим все точки изображения одновременно.

Для передачи изображения по отдельным точкам производится «развертка» его электронным лучом. Луч обегает изображение по горизонтальным строкам, прочерчивая их по очереди сверху вниз. При соприкосновении луча с фотоэлементами мозаики происходит выравнивание их потенциала, причем в цепи трубки возникает электрический импульс, величина которого пропорциональна величине потенциала данного места мозаики. Такой импульс и является электрическим «сигналом изображения» или телевизионным сигналом.

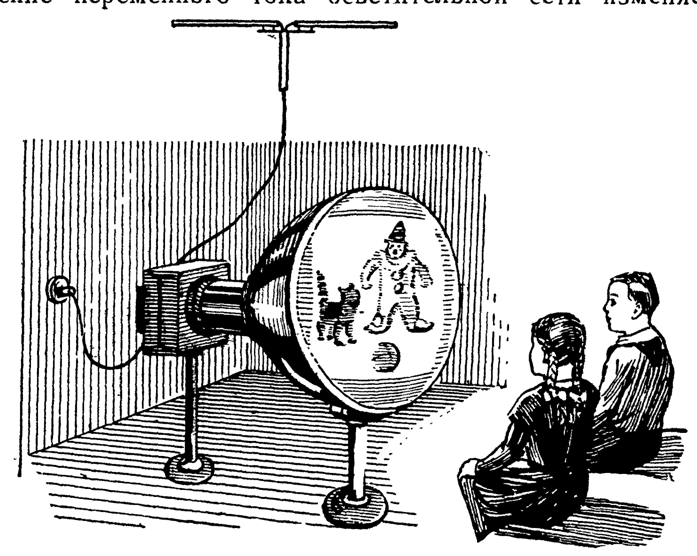
В приемном пункте принятые сигналы подаются на управляющий электрод приемной электронно-лучевой

трубки, снабженной экраном, покрытым люминофором. Сигнал изменяет интенсивность электронного луча, вследствие чего изменяется яркость свечения той точки экрана, на которую падает в данный момент луч. Электронный луч в приемной трубке так же обегает экран по строкам, как и луч передающей трубки, и движется синхронно с ним, поэтому из мест с различной интенсивностью свечения экрана составится изображение, подобное изображению, спроектированному на экран передающей трубки.

Таким образом, электронно-лучевые трубки являются первым и последним звеньями сложнейшей приемно-передающей телевизионной аппаратуры, дающей нам возможность, не выходя из дома, присутствовать в театрах, в концертных залах, на стадионах и пр.

Электронно-лучевые трубки принципиально подобного же устройства находят широкое применение в многочисленной точнейшей и сложнейшей современной аппаратуре.

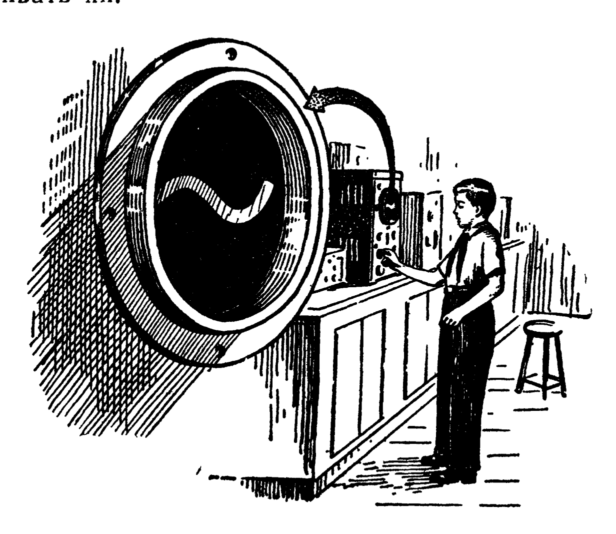
Исключительно важное значение имеет применение электронно-лучевых трубок в замечательных по своим возможностям современных измерительных приборах—осциллографах. Осциллограф является прибором, на экране которого можно непосредственно видеть картину электрических процессов, происходящих в цепи, к которой осциллограф присоединен. Например, как известно, напряжение переменного тока осветительной сети изменяется

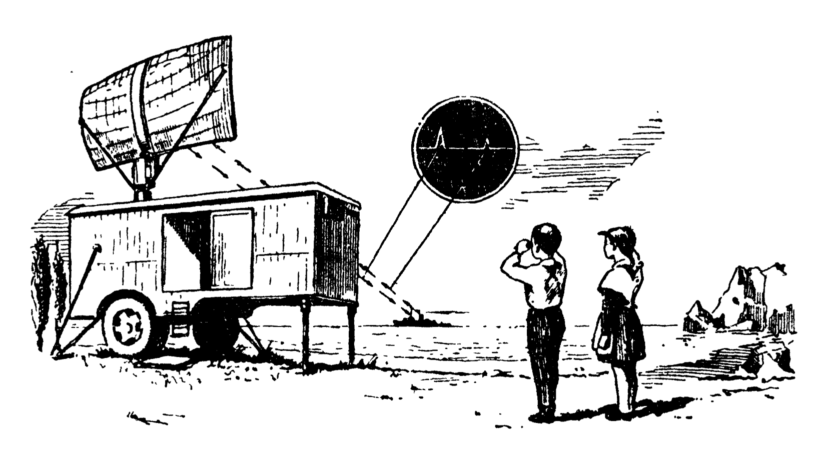


по закону синусоиды. Если осциллограф присоединить к осветительной сети, то на его экране будет видна эта синусоида.

Идея устройства осциллографа проста. К органам горизонтального отклонения луча его трубки подводится напряжение пилообразной формы, которое заставляет луч прочерчивать в середине экрана горизонтальную прямую линию. Если после этого исследуемую электрическую цепь присоединить к органам вертикального отклонения луча, то в соответствии с величиной действующего в этой цепи напряжения луч одновременно будет отклоняться еще вверх или вниз. Перемещение луча вдоль по строке в горизонтальном направлении длится определенное время, обусловленное схемой и деталями осциллографа. Поэтому на экране возникнет картина изменения напряжения в исследуемой цепи в течение того времени, которое требуется лучу на пробегание от начала до конца строки. Это время (так называемое «время развертки») можно устанавливать по своему усмотрению и растягивать на экране прибора исследуемый процесс в нужной степени, удобной для его изучения.

В лучших осциллографах применяются электронно-лучевые трубки с двумя лучами и двумя системами их управления. На экране такого осциллографа можно одновременно получать картину двух электрических процессов и сравнивать их.





Осциллографы различного вида получили в настоящее время исключительно широкое распространение. Они используются не только в тех областях техники, которые непосредственно связаны с электричеством, например в электротехнике и радиотехнике, но и во многих других областях науки и техники, не связанных непосредственно с электротехникой. Объясняется это все увеличивающимся применением электрических способов измерения путем преобразования неэлектрических величин в электрические. Так, медики изучают на экране электронно-лучевой трубки осциллографа кривые биения человеческого сердца, сейсмологи рассматривают кривую колебаний почвы и т. д.

Электронно-лучевые трубки, принципиально подобные приемным телевизионным и осциллографическим трубкам, являются важнейшей частью радиолокационных устройств всех видов. Основное физическое отличие между ними часто заключается лишь в продолжительности послесвечения люминофора экрана. В телевидении кадры сменяются каждую $^1/_{25}$ *сек.* Для четкости изображения необходимо, чтобы к началу очередного кадра предыдущий полностью исчез. Поэтому люминофор для этих трубок подбирается так, чтобы его свечение прекращалось сейчас же после воздействия электронного луча. Практически мгновенного погасания люминофора не происходит, но его запаздывание — послесвечение — длится не более тысячных долей секунды.

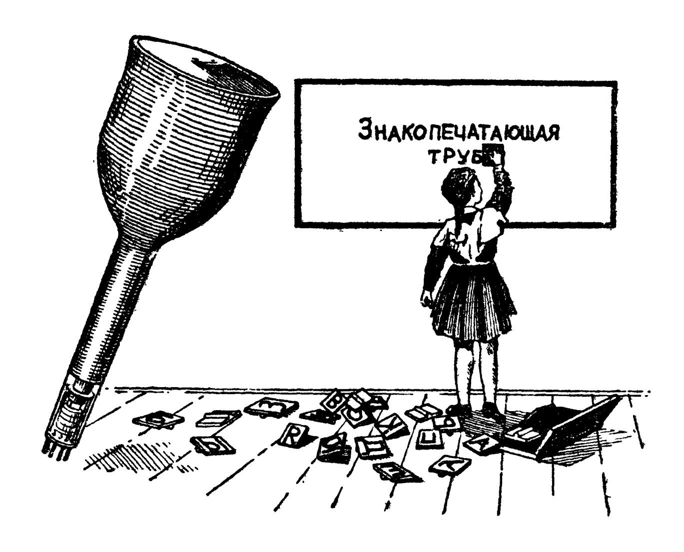
В радиолокации послесвечение как раз бывает нужно, в особенности когда трубка служит индикатором кругового обзора. Для таких трубок люминофор подбирается так,

чтобы его послесвечение было не менее нескольких секунд.

Люминофоры, покрывающие экраны электронно-лучевых трубок, обычно бывают светлых тонов, что затрудняет рассматривание изображения на экране при освещении — светлый след движения электронного луча не так хорошо заметен на светлом экране. Владельцы телевизоров хорошо знают, что телевизионные передачи лучше смотреть в затемненной комнате, а не в освещенной. Но в некоторых случаях применения электронно-лучевых трубок затемнением пользоваться нельзя. Чтобы дать возможность полноценно пользоваться электронно-лучевыми трубками в таких условиях, делают трубки с черным экраном. Люминофор у таких трубок прозрачен, внутренность колбы трубки зачернена. При подобном устройстве экран представляется черным. На фоне этого черного экрана ярко выделяется светлая линия, рисуемая лучом. Ее хорошо видно даже при ярком освещении.

Используя общий принцип устройства электронно-лучевых трубок, можно приспосабливать их для различных целей. Например, сейчас входят в употребление так называемые знакопечатающие трубки. Такие трубки в общем имеют следующее устройство.

Катод и фокусирующая система знакопечатающих трубок примерно такие же, как и у рассмотренных выше трубок. Далее в подобной трубке на пути луча помещен не-



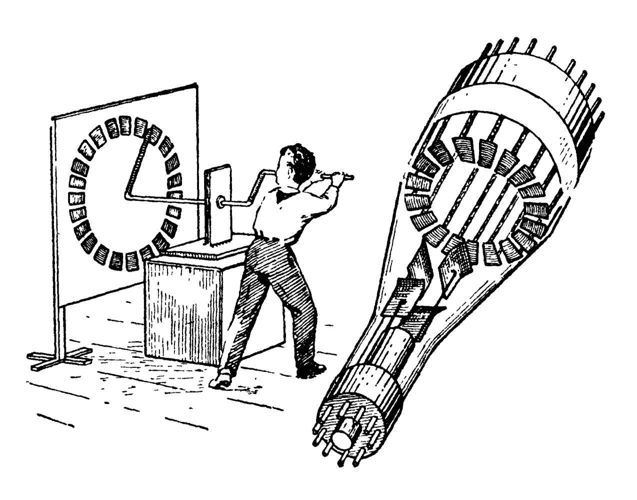
прозрачный экран — трафарет с прорезанными в нем изображениями букв, цифр и знаков. Перед трафаретом находится селектирующее, или выбирающее, устройство, которое направляет сфокусированный луч на нужное отверстие трафарета. Пройдя сквозь это отверстие, луч будет иметь в сечении его форму. Достигнув люминесцирующего экрана, луч «напечатает» на нем соответствующий знак, букву или цифру.

Если бы устройство трубки ограничивалось сказанным, то отпечаток каждого знака мог бы быть получен только в одном определенном месте экрана. Для перемещения его в любое место экрана служит специальная отклоняющая система, так называемая «адресная», при помощи которой (подав на которую требующееся напряжение) можно направить луч после трафарета в любое место экрана. Подводя к селектирующей и адресной системам те или иные напряжения, можно «отпечатать» в нужном месте экрана любой знак из числа имеющихся в трафарете. Так как передвижение луча может быть произведено весьма быстро, то на экране могут практически одновременно появляться отпечатки знаков в любых сочетаниях.

Следующие цифры могут дать представление о скорости работы знакопечатающей трубки: на пишущей машине в секунду может быть записано при очень быстрой работе 5 знаков, а на экране знакопечатающей трубки — 20 000.

Знакопечатающие трубки применяются, например, на больших аэродромах, где на их экранах суммируются сведения, полученные от многих радиолокационных станций и обработанные электронными счетно-решающими устройствами. На экране трубки больших размеров бывают видны значки самолетов, находящихся в зоне аэродрома, с напечатанными около них буквами и цифрами, которыми закодированы сведения о принадлежности самолета, его типе, высоте, скорости, запасе горючего и пр. Самолетики вместе со своим «паспортом» перемещаются по экрану в соответствии с их фактическим передвижением в пространстве аэродромной зоны. Диспетчер, глядя на экран подобной трубки, получает полное представление о том, что делается на самом аэродроме, в воздухе над ним и в прилегающей к нему зоне, простирающейся часто на десятки и даже сотни километров (смотря по тому, где расположены первичные радиолокационные станции).

Явление выбивания электронным лучом электронов из многих веществ используется для изготовления «запоми-



нающих» электронно-лучевых трубок для счетно-решающих устройств. Механизм формирования и отклонения электронного луча в подобных трубках таков же, как и в других, но экран делается из диэлектрика, из которого под воздействием луча вырываются электроны и, следовательно, изменяется электрический потенциал той точки, на которую падал луч. Так как вещество экрана является непроводником, то образованные потенциалы разных мест удерживаются в течение длительного времени. Экран разделен на определенные участки — ячейки памяти. Нужные сведения запечатлеваются лучом в определенных ячейках и извлекаются из них опять-таки при помощи луча, когда это требуется. Зафиксированные на экране трубки сведения могут быть в любой момент стерты и трубка подготовлена к записи других сведений. Скорость запоминания трубкой сведений и скорость их «выдачи» очень велики. Для иллюстрации приводятся, например, такие цифры: человек может запомнить в секунду максимум десять цифр, а электронно-лучевая запоминающая трубка — миллион.

Трубки такого рода называют иногда скиатронами. Скиатроны применялись, в частности, в аппаратуре, принимавшей изображение невидимой стороны луны с ракеты, облетевшей ее.

Электронно-лучевые трубки могут применяться даже в качестве чрезвычайно быстро работающего переключателя. На дне электронно-лучевой трубки помещаются металлические контакты, расположенные, например, по кругу. Электронный луч обегает их с громадной скоростью, замы-

кая тем самым по очереди соединенные с контактами цепи. Ни один механический переключатель не может работать с подобной быстротой.

Такого рода переключатели удобны, например, для передач с импульсной модуляцией, дающих возможность транслировать одновременно на одной частоте много телефонных разговоров, радиовещательных программ и пр.

Из приведенного краткого перечня видно, что электронно-лучевые трубки применяются для самых различных целей. Семья электронных приборов этого типа велика и разнообразна. В ней объединены приборы самые различные и не похожие друг на друга ни по внешности, ни по назначению — от простеньких оптических индикаторов настройки до громадных и сложнейших знакопечатающих трубок. А о возможностях электронно-лучевых трубок хорошо говорит хотя бы тот факт, что в некоторых образцах трубок пятно луча движется по экрану со скоростью,... превышающей скорость света, электронно-лучевые трубки регистрируют процессы в 1 000 раз быстрее, чем молния.

Нет сомнения, что электронно-лучевым трубкам принадлежит огромное будущее.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ШИРОКО ПРИМЕНЯЕМЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Назначение ламп	Лампы прежних выпусков	Новые типы ламп
Диоды и двойные диоды для детектирования высокочастотных колебаний	6Х6С, 6Х2П	6Д6А
Триоды для усиления напряжения низкой частоты	6С2С, 6С5С	6С3Б, 6С7Б
Триоды для усиления напряжения и генерирования колебаний высокой частоты	—	6С1П, 6С2П, 6С3П, 6С4П, 6С5Д, 6С6Б
Двойные триоды для усиления напряжения	6Н8С, 6Н9С, 6Н1П, 6Н2П, 6Н3П, 6Н15П,	6Н4П, 6Н5П, 6Н16Б, 6Н17Б
Двойные и тройные диод-триоды для детектирования и усиления напряжения низкой частоты	6Г2, 6Г7	6Г3П
Диод-пентоды и пентоды для усиления напряжения низкой частоты	1Б1П, 6Б8С	0,6Ж2Б, 1Б2П
Пентоды для усиления напряжения высокой частоты	1К1П, 2Ж2М, 6Ж1П, 6Ж3, 6Ж3П, 6Ж4, 6Ж7, 6Ж8, 6К1П, 6К3, 6К7, 6К9С	1К2П, 6Ж1Б, 6Ж2Б, 6Ж5Б, 6Ж5П, 6Ж9П, 6Ж11П, 6К4П
Частотопреобразовательные лампы	1А1П, СО-242, 6А7, 6А8, 6А10С	1А2П, 6А2П, 6А3П, 6И1П, 6Ф1П
Выходные триоды и двойные триоды	1Н3С, 2С4С, 6С4С, 6Н5С, 6Н7С	—
Выходные пентоды в лучевые триоды	2П1П, 6П1П, 6П3С, 6П6С, 6Ф6С, 6П7С, 30П1С	0,6П2Б, 1П2Б, 1П3Б, 1П9Б, 2П2П, 6П14П, 6П15П, 6П18П, 6Э5П
Кенотроны	1Ц1С, 1Ц7С, 5Ц3С, 5Ц4С, 6Ц5С, 30Ц6С	1Ц11П, 6Ц4П, 6Ц10П, 6Ц13П

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой книге читатель в общих чертах познакомился с основными положениями электроники и главнейшими видами электронных приборов.

На самом деле их значительно больше.

К электронным приборам относятся, например, электронные микроскопы с их гигантским увеличением, так раздвинувшим возможности нашего познания. К ним принадлежат рентгеновские трубки, широко используемые в медицине и технике, счетчики элементарных частиц и пр.

Электроника охватывает также большую группу приборов полупроводникового типа, в которых движение электрических зарядов происходит не в вакууме или газе, а в полупроводниках. К их числу относятся, например, купроксные и селеновые выпрямительные элементы, кристаллические детекторы-диоды и кристаллические триоды, которые уже теперь в ряде случаев конкурируют с электронной лампой. К ним причисляются и полупроводниковые фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, наиболее известным представителем которых является селеновый фотоэлемент для фотоэкспонометров.

Интереснейшим разделом электроники является тот ее раздел, в котором рассматриваются явления переноса изображений с одной поверхности на другую. В одних случаях такой перенос изображений применяется для их усиления, как, например, в некоторых образцах передающих телевизионных трубок, в других случаях он оказывается необходимым для превращения невидимого изображения в видимое, как это делается в установках ночного видения, позволяющих видеть предметы, облученные, например, невидимыми глазом инфракрасными лучами.

Исключительно велика роль электроники в народном хозяйстве. Как на один из примеров, можно указать на

огромное значение электроники в автоматизации производства. В нашей социалистической промышленности все шире внедряется автоматизация. От отдельных автоматических станков промышленность переходит к автоматическим линиям, из автоматических линий рождаются целиком автоматизированные заводы — нигде до этого невиданные заводы-автоматы. Эти заводы обслуживаются многочисленными и разнообразными электронными приборами. Без электроники невозможно осуществить автоматизацию в сколько-нибудь широких масштабах.

Сложнейшие автоматические электронные устройства водят самолеты по заданному курсу, их называют обычно автопилотами. Другие электронные автоматы дежурят на электростанциях и управляют энергетическими системами.

Без электронных автоматов, размещенных на советских спутниках земли и на космических ракетах, не удалось бы победить космические пространства.

Число электронных приборов растет с каждым годом, а круг их применений непрерывно увеличивается. Электроника становится важнейшей областью науки и техники. Два достижения огромнейшей значимости характерны для первой половины нашего столетия — начало овладения энергией атомного ядра и развитие электроники — электронной техники, причем достижения в области ядерных преобразований были в основном подготовлены развитием электроники.

Электронная и атомная техника по своему совершенству и своим возможностям резко отличается от остальных «старых» видов техники. Эту новую технику мы можем с полным правом назвать техникой будущего, техникой, которая найдет широчайшее применение в коммунистическом обществе.

Цена 3 р. 05 к.